

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR



FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN REDES DE COMUNICACIÓN

INFORME FINAL CASO DE ESTUDIO PARA UNIDAD DE TITULACIÓN ESPECIAL

TEMA:

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE MONITOREO DE INCENDIOS FORESTALES EN
TIEMPO REAL BASADO EN INTERNET DE LAS COSAS Y PLATAFORMAS COMO
SERVICIO EN LA NUBE”**

JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

Quito – 2016

AUTORÍA

Yo, ***JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN***, portador de la cédula de ciudadanía No.***100219843-8***, declaro bajo juramento que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y que se he respetado las diferentes fuentes de información realizando las citas correspondientes. Esta investigación no contiene plagio alguno y es resultado de un trabajo serio desarrollado en su totalidad por mi persona.

JAIME ROBERTO MICHILENA CALDERÓN

Contenido

AUTORÍA	II
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE ECUACIONES	XI
1. Introducción	1
2. Justificación	4
3. Antecedentes	7
3.1 Problema	10
4. Objetivos	12
4.1. Objetivo General:	12
4.2 Objetivos Específicos:	12
5. Desarrollo Del Caso De Estudio	13
5.1. Estado del arte respecto al protocolo IEEE 802.15.4, IoT y PaaS, y su utilización para Redes de Sensores Inalámbricos	14
5.1.1. Internet of Things	14
5.1.2. Redes Inalámbricas	19
5.1.2.1. <i>Redes Inalámbricas de Sensores (WSN)</i>	21
5.1.2.2. Elementos de una WSN	22
5.1.2.2.1. Nodo Sensor	23
5.1.2.2.2. <i>Unidad De Sensores</i>	25
5.1.2.2.3. <i>Unidad De Procesamiento</i>	26
5.1.2.2.4. <i>Unidad De Comunicación</i>	28
5.1.2.2.5. <i>Unidad De Energía</i>	28
5.1.2.2.6. <i>Gateway</i>	29
5.1.2.2.7. <i>Estación Base</i>	30
5.1.2.2.8. <i>Red Inalámbrica.</i>	30
5.1.2.3. <i>Topologías de una red inalámbrica de sensores.</i>	31
5.1.3. Sensores.	35
5.1.4. IEEE 802.15.4.	35

5.1.4.1.	Capa Física	36
5.1.4.3.	ZigBee	39
5.1.4.3.1.	<i>Tipos de Dispositivos ZigBee</i>	40
5.1.4.3.2.	<i>Arquitectura Básica de Zigbee.</i>	41
5.1.4.4.	Integración entre WSN y Redes TCP/IP.	52
5.1.4.4.4.	<i>Nivel de Protocolos de Interconexión</i>	54
5.1.4.4.5.	<i>Basados en Estándares.</i>	55
5.1.4.4.6.	<i>Protocolos de Interconexión AD-HOC.</i>	55
5.1.5.	Hardware Open Source.....	55
5.1.5.1.	<i>Plataformas de Open Source</i>	56
5.1.5.2.	<i>Arduino</i>	56
5.1.6.	Nube.	58
5.1.6.1.	<i>Tipos de Nube</i>	60
5.1.6.2.	<i>Modelos De Servicio</i>	61
5.1.7.	Teoría del Fuego.....	63
5.1.7.1.	<i>Concepto de incendio forestal</i>	64
5.1.7.2.	<i>Ejemplos de Sistemas de Alerta de Incendios Forestales en producción a Nivel Mundial.</i>	66
5.1.7.2.1.	<i>FireWatch</i>	67
5.1.7.2.2.	<i>Integra Wild Fire</i>	68
5.1.7.2.3.	<i>Fire and Smoke NASA: sistemas utilizando imágenes satelitales.</i>	70
5.2.	Diseño del Sistema de Alerta Temprana de Incendios Forestales.	71
5.2.1.	Parámetros de Diseño del Sistema.	71
5.2.1.1.	Ubicación sugerida de Monitoreo.	72
5.2.1.1.1.	<i>Extensión</i>	73
5.2.1.1.2.	<i>Densidad</i>	73
5.2.1.1.3.	<i>Estructura</i>	73
5.2.1.1.4.	<i>Altura</i>	73
5.2.1.1.5.	<i>Diversidad de Especies</i>	74
5.2.2.	Características a considerar en el Diseño de la Red	74
5.2.2.1.	WSN.....	74
5.2.2.1.1.	<i>Ambiente de Trabajo</i>	74
5.2.2.1.2.	<i>Enlace inalámbrico</i>	75

5.2.2.1.3.	<i>Fuente de energía</i>	75
5.2.2.1.4.	<i>Exigencias de Desempeño de la Red</i>	75
5.2.3.	Descripción del Sistema de Monitoreo	76
5.2.3.1.	<i>Módulo Sensor</i>	77
5.2.3.2.	<i>Módulo Central</i>	78
5.2.4.	Diseño de la Red de Sensores Inalámbricas	80
5.2.4.1.	Proceso de Sensado.	80
5.2.4.2.	Sensores Utilizados en el proceso de Monitoreo.	81
5.2.4.2.1.	<i>Sensor de Monóxido de Carbono MQ-7</i>	81
5.2.4.2.2.	<i>Sensor de Flama</i>	83
5.2.4.2.3.	<i>Sensor de Humo MQ-2</i>	84
5.2.4.2.4.	<i>Sensor de Temperatura DTH-11</i>	85
5.2.4.2.5.	<i>Sensor de Humedad Relativa del Suelo LM393</i>	86
5.2.4.3.	Proceso de Transmisión de Datos.	87
5.2.4.3.1.	<i>Arduino FIO</i>	87
5.2.4.3.2.	<i>Arduino YUN</i>	92
5.2.4.3.3.	<i>Módulo Xbee</i>	95
5.2.4.4.	Diseño Del Radio Enlace Microonda.....	103
5.2.4.4.2.	<i>Trazado del Perfil Topográfico.</i>	104
5.2.4.4.3.	<i>Selección del Equipo de radio Microonda</i>	106
5.2.4.4.4.	<i>Ganancia del Sistema.</i>	107
5.2.4.4.7.	<i>Resultados de cálculo del enlace de Radio Frecuencia</i>	112
5.2.4.5.	Diseño Del Software	112
5.2.4.5.1.	<i>Diagramas de flujo</i>	112
5.2.4.6.	Uso de la PaaS	114
5.2.4.6.1.	<i>Interfaz de monitoreo.</i>	115
5.2.4.6.2.	<i>UBIDOTS</i>	115
5.2.5.	Proceso de envío de los Datos de los Sensores	117
5.2.5.1.	Conexión del sistema a la nube de Ubidots	119
5.3.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA	126
5.3.1.	Pruebas de Envío de Tramas para el Nodo Sensor y el Nodo Central	126
5.3.1.1.	<i>Nodos Sensores</i>	126

5.3.1.2.	<i>Nodo Central</i>	129
5.3.1.3.	<i>Alertas</i>	130
5.4.	Análisis Costo Beneficio de la propuesta.	137
5.4.1.	Costos.....	137
5.4.2.	Beneficio	150
6.	Conclusiones y Recomendaciones.....	154
6.1.	Conclusiones.....	154
6.2.	Recomendaciones	156
	Glosario de Términos:	158
	Bibliografía:.....	160
	Anexos:.....	164
	ANEXO 1: CÓDIGO DE PROGRAMA CONFIGURADO EN LOS NODOS SENSORES Y EL NODO CENTRAL	164
	ANEXO 2: CREACIÓN DE CUENTA DE USUARIO y DASHBOARD EN LA PLATAFORMA UBIDOTS.....	175
	ANEXO 3: FOTOGRAFÍAS DESARROLLO DEL PROYECTO SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS FORESTALES.....	187

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Internet of Things.....	14
Figura 2. Dispositivos conectados por Internet y su evolución futura	16
Figura 3. Arquitectura de Capas de IoT	17
Figura 4. Vista Tridimensional de IoT	18
Figura 5. Clasificación de Redes Inalámbricas	20
Figura 6. Elementos de una WSN	23
Figura 7. Topologías WSN.....	32
Figura 8. Modelo Estándar IEEE 802.15.4	36
Figura 9. Estructura de Canales definido por IEEE 802.15.4	37
Figura 10. Protocolo de capas de redes inalámbricas Zigbee.....	42
Figura 11. Estructura de trama API.....	50
Figura 12. Integración ente una red WSN y una red TCP/IP	52
Figura 13. Solución de Gateway	53
Figura 14. Ejemplos de placas Arduino	57
Figura 15. Modelos de la nube	62
Figura 16. Izquierda: Triángulo del fuego. Derecho: Tetraedro del fuego	63
Figura 17. Triángulo del fuego para el caso forestal.....	65
Figura 18. Ilustración de la Red del sistema Fire Watch.....	68
Figura 19. Diagrama de bloques de funcionamiento del sistema Integra Wild Fire @wf	69
Figura 20. Imagen tomada por el Sistema Fire and Smoke de la NASA sobre Tanzania.....	70
Figura 21. Izquierda: Loma de Guayabillas Ibarra.....	72
Figura 22. Arquitectura del sistema de Alerta Temprana	76
Figura 23. Diagrama de Bloques Módulo Sensor	78
Figura 24. Diagrama de Bloques Módulo Central	79
Figura 25. Sensor MQ-7 Monóxido de Carbono.....	81

Figura 26. Diagrama Esquemático del sensor MQ-7	82
Figura 27. Formas de onda de funcionamiento del sensor	82
Figura 28. Sensor de Flama.....	83
Figura 29. Sensor de Humo MQ-2	84
Figura 30. Sensor de Temperatura DTH11	85
Figura 31. Módulo Sensor de Humedad del Suelo LM393.....	86
Figura 32. Placa Arduino FIO	87
Figura 33. Diagrama de funcionalidad de pines Arduino FIO	88
Figura 34. Placa Arduino YUN.....	93
Figura 35. Características Principales de Arduino YUN	94
Figura 36. Módulo Xbee S2	96
Figura 37. Esquema de conexión de la fuente de energía DC al nodo sensor.....	101
Figura 38. Esquema de conexión de la fuente de energía AC al Gateway.....	102
Figura 39. Perfil Topográfico del enlace de Microonda Bosque Protector Guayabillas - UTN .	105
Figura 40. Datos del enlace microonda entre los nodos.....	106
Figura 41. Diagramas de Flujo de funcionamiento del programa.....	113
Figura 42. Logo Ubidots	116
Figura 43. Funcionamiento Ubidots.....	117
Figura 44. Tama de Datos a enviar por los Nodos Sensores al Nodo Central.....	118
Figura 45. API Ubidots.	120
Figura 46. Creación de Fuente de Datos en Ubidots.....	121
Figura 45. Proceso para añadir variables a recibir en Ubidots.....	121
Figura 48. Cambio de nombre y parametrización de descripción de la Plataforma de Monitoreo en Ubidots.	122
Figura 49. Almacenamiento de Variables en Ubidots.....	123
Figura 50. Configuración de ID de Variables en Ubidots.....	123

Figura 51. Configuración de Variables en Ubidots.....	124
Figura 52. Realización del DashBoard de monitoreo en Ubidots.	125
Figura 53. Visualización de la variación de los datos de monitoreo en Ubidots.....	125
Figura 54. Visualización de Tramas en el Nodo Sensor.	126
Figura 55. Visualización de reenvío de Datos por el Nodo Sensor.....	127
Figura 56. Generación de Alerta Local.	128
Figura 57. Visualización del envío de Tramas a través del puerto COM del computador que actúa como servidor.....	128
Figura 58. Visualización del identificador de sensor, estado de batería y lectura de los sensores del nodo B.	129
Figura 59. Visualización del identificador de sensor, estado de batería y lectura de los sensores del nodo B vista en el Nodo Central	130
Figura 59. Configuración de Umbrales de alerta para nivel de Batería en la plataforma Ubidots.	131
Figura 61. Configuración De Eventos de Alerta en la Plataforma Ubidots.	132
Figura 62. Alerta mediante correo electrónico a la dirección configurada en la Plataforma Ubidots.....	132
Figura 63. Visualización del envío de Datos utilizando el protocolo HTTP a la Plataforma Ubidots.....	133
Figura 64. Almacenamiento de los datos enviados por los nodos en la Nube.	134
Figura 65. Visualización de Datos del Sensor de Temperatura.....	135
Figura 66. Visualización de los datos del sensor de Humedad Relativa.	135
Figura 67. Visualización de los datos del sensor de CO	136
Figura 68. Almacenamiento de los datos enviados por los nodos en la Nube.	136
Figura 69. Vista superior Bosque Protector Guayabillas	143
Figura 70. División por Zonas del Bosque Protector Guayabillas.	144

Figura 71. Diagrama aproximado de cobertura de un grupo de sensores conformado por un nodo central y tres nodos sensores.	145
Figura 72. Imagen Satelital Bosque Protector Guayabillas dividida en hectáreas.	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación entre módulos Xbee	51
Tabla 2. Comparación de Placas Arduino	58
Tabla 3. Distribución de pines del microcontrolador Arduino FIO	92
Tabla 4. Distribución de pines del microcontrolador Arduino YUN.	95
Tabla 5. Características de Consumo de dispositivos en un nodo sensor	99
Tabla 6. Características de los equipos del enlace microonda	107
Tabla 7. Resumen de Datos obtenidos en el cálculo del enlace de microondas.....	110
Tabla 6. Costo referencial de los equipos utilizados del Sistema de Alerta Temprana.....	138
Tabla 7. Costo de Infraestructura	139
Tabla 8. Costo de ingeniería.....	140
Tabla 9. Costo de Software empleado.....	141
Tabla 10. Costo total de inversión con un grupo de dispositivos.....	142
Tabla 11. Costo total de Implementación del Proyecto.....	149
Tabla 12. Tiempo de recuperación de cobertura vegetal afectada por incendios.....	151

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Elementos para la Combustión.....	65
Ecuación 2. Cálculo de la Resolución de una Entrada Analógica.....	90
Ecuación 3. Fórmula del periodo	91
Ecuación 4. Fórmula del consumo	99
Ecuación 5. Resultado del cálculo del consumo	100
Ecuación 6. Tiempo de suministro de la batería	100
Ecuación 7. Cálculo del Radio de la Zona de Fresnel.....	103
Ecuación 8. Ganancia del Sistema	108
Ecuación 9. Pérdida de trayectoria de espacio libre	109

Ecuación 10. Confiabilidad del Enlace	109
Ecuación 11. Cálculo del Margen de Desvanecimiento.....	110

1. Introducción

En los últimos años las tecnologías de redes inalámbricas y entre ellas WiFi o Zigbee han presentado un acelerado desarrollo permitiendo la incorporación de esta a múltiples plataformas para la implementación de redes de sensores inalámbricos (WSN) debido a su bajo consumo de potencia y hace posible que dispositivos como los nodos de una red inalámbrica pueden comunicarse directamente con otros dispositivos IP; es por ello, que este tipo de redes se las puede aplicar en el monitoreo y control de áreas geográficas sensibles como bosques y reservas ecológicas que se encuentran a merced de eventos que pueden destruirlas de forma parcial o total como: cambio climático, tala indiscriminada de árboles, contaminación e incendios forestales, entre otros.

En el caso de los incendios forestales, al cual se orienta este caso de estudio, la investigación se ha centrado en la experiencia local en materia forestal. En este caso, el sistema utiliza información procedente de las redes de sensores inalámbricos (WSN) basada en tecnología ZigBee IEEE 802.15.4 distribuida en una superficie forestal de prueba. El sistema integra información terrestre en tiempo real (facilitada por los sensores) con información histórica proporcionada por los mismos y almacenada en una base de datos en una plataforma en la nube. De esta forma, es posible establecer donde se concentra el mayor riesgo de incendio en una zona concreta, un bosque, por ejemplo.

El sistema no está pensado para detectar incendios provocados, pero ofrece a los organismos de socorro una herramienta sencilla de alerta temprana, afinando así el pronóstico de un eventual brote de fuego en un bosque.

La prevención de incendios forestales se caracteriza por la elaboración de índices empíricos basados en variables ambientales como: temperatura, niveles de humo, dirección del viento, etc. Los sistemas de detección de incendios se pueden dividir, a grandes rasgos, en dos grupos: inspección humana directa o indirecta y sistemas automáticos basados, en general, en la radioespectrometría satelital; en el caso de investigación el modelo de alerta temprana es basado en la lectura de la variación de temperatura de sensores ubicados in situ, estos datos, luego de ser recolectados y almacenados son discriminados de tal manera que permitan generar notificaciones y a su vez desarrollar un sistema de predicción y alerta de estos fenómenos sean naturales o no.

El producto final de este proyecto es un prototipo de alerta temprana de incendios forestales que contempla un área del Bosque Protector Guayabillas de la ciudad de Ibarra, basado en una configuración de una red de sensores con tecnología IEEE 802.15.4 que son los principales recolectores de información in situ y datos históricos de incendios forestales SGR obtenidos sobre el sector elegido para entender la dinámica detrás de este fenómeno y que servirá para el desarrollo del prototipo en cuestión. Para conseguirlo, se considerarán criterios de diseño y colocación de sensores inalámbricos, comunicación con el nodo central y demás. Todo esto hará que el prototipo tenga un componente innovador pues el producto final tendrá un valor agregado diferenciador con respecto a otras soluciones presentadas para enfrentar esta problemática.

Se va a utilizar una red ZigBee de 4 elementos, un nodo central y tres nodos sensores que serán los elementos activos de recolección de datos de temperatura y demás variables; en el nodo central se realizará un puente entre la tecnología ZigBee a TCP/IP

para brindar la conectividad a la plataforma en la nube; almacenar los mismos y discriminarlos para la generación de alertas.

La plataforma a utilizar será Ubidots, que es una plataforma en la nube que permite almacenar e interpretar información de sensores en tiempo real, haciendo posible la creación de aplicaciones para el Internet de las Cosas de una manera práctica. Gracias a ésta herramienta se ahorra tiempo y dinero al momento de desarrollar aplicaciones como: sistemas de telemetría GPS, aplicaciones para contar vehículos en una calle, sistemas para monitoreo de temperatura y otras variables de sensores; esta última característica es la que se utiliza para el desarrollo de la solución planteada, la cual acepta los datos de los sensores, realiza un análisis de los mismos en la plataforma y elige entre una de sus opciones la mas adecuada para generar el aviso.

Se diseñará un Dashboard de control para que el o los administradores puedan interactuar con la plataforma y los datos que esta muestrean.

Posteriormente se realizará un estudio de costo beneficio del proyecto que servirá como base para una futura implementación de sistema de monitoreo de incendios forestales en tiempo real basado en internet de las cosas y plataformas como servicio en la nube, la implementación de este sistema permitirá la detección de variación de niveles de temperatura y otros parámetros presentes en un incendio forestal y permitir, luego de la generación de una alerta, la intervención de los organismos de socorro, reduciendo los riesgos de daños colaterales, ahorrando superficie de suelo quemada, horas de trabajo combatiendo las llamas y disminuyendo la contaminación atmosférica.

2. Justificación

Dentro del Plan del Buen Vivir en su planificación 2013-2017, para el cumplimiento del objetivo 7 de los derechos de la naturaleza y promover la sostenibilidad ambiental territorial y global, entre sus políticas y lineamientos, en el punto 2 inciso j. se establece que se debe, “Impulsar incentivos y tecnología apropiada para la conservación de la naturaleza, sus bosques, zonas de nacimiento y recarga de agua y otros ecosistemas frágiles, enfocados en particular en las comunidades y los individuos más dependientes del patrimonio natural para su sobrevivencia.”

IoT presenta una evolución de la Internet con la presencia de más dispositivos que se conectan a la red con un propósito específico, para poder recopilar, analizar y distribuir datos que se pueden convertir en información y conocimiento. (Evans, 2011)

IEEE 802.15.4 es un estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos (low-rate wireless personal area network, LR-WPAN). (WPANs, 2007)

Las redes inalámbricas de sensores (WSN), permite la comunicación en forma flexible en tiempo, espacio y autónoma, capaces de obtener información del entorno y enviarla de forma inalámbrica a una central, ofreciendo la posibilidad de monitorear sistemas de recolección de datos como temperatura, riego y telemetría GPS. (Hernández, 2010)

En el escenario de incendios forestales se analizó información climática (INAMHI) y las reportadas en el país por la Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos referente a:

precipitación promedio por regiones, probabilidades de precipitación bajo la normal, estadísticas de eventos adversos; lo que pone en consideración el apareamiento de nuevas variables a tomar en cuenta para la detección y predicción temprana de incendios forestales.

En el presente escenario se analizó la recurrencia los incendios forestales del mes de julio años 2010 al 2015, para este periodo se dispone de la fuente de datos es la Dirección de Monitoreo de Eventos Adversos de la SGR – Secretaría General de Riesgos (INAMHI, 2010 al 2015). El número de incendios forestales en los meses de agosto a noviembre fue de 795 eventos, de ellos el: 0 a 1 % corresponde a los años 2010 y 2011, con un incremento de entre 32 a 68 % en los años 2012 y 2015. Las precipitaciones disminuyen para el último año (35 %), con respecto al año anterior. (Riesgos, 2015)

Los cantones Quito en la provincia de Pichincha, Ibarra y Otavalo de la provincia de Imbabura, fueron los principales cantones con mayor ocurrencia de incendios forestales en el país en los últimos cuatro años. La ocurrencia de los incendios forestales en los meses de agosto a noviembre periodo 2010 – 2015 se incrementa en un 3 % con respecto al año anterior. (Riesgos, 2015)

La detección debe ser anticipada o en el peor de los casos rápida, con un mínimo de tiempo transcurrido desde el inicio del fuego. Además, debe aportar la mayor cantidad de información acerca de las características del incendio y del sector en el cual se propaga, para facilitar las decisiones de despacho de recursos.

Por todo esto, la detección de incendios forestales, es el conjunto de recursos, procedimientos y actividades para descubrir, localizar y reportar en el menor tiempo un incendio, a fin de que las autoridades pertinentes decidan el despacho de los recursos necesarios.

3. Antecedentes

Luego de iniciado un incendio forestal, su descubrimiento inicia una serie de acciones que culminan con el combate al fuego y el análisis que se hace de la situación; el despacho de recursos terrestres y aéreos; su desplazamiento hacia el incendio y el combate propiamente como tal. Por lo tanto, una detección oportuna, tiene consecuencias operacionales y económicas. Mientras más rápido se descubre un incendio, más exitoso será el combate y menor el daño producido; si a esto se le suma un modelo predictivo que puede alertar de estas situaciones antes de que sucedan las ventajas están por demás justificadas. (Sowah, Ofoli, Krakani, & Fiawoo, 2014)

Se han utilizado varias tecnologías para el desarrollo de sistemas de detección de incendios forestales, entre estas se encuentran (Baddewithana, Godigamuwa, Gauder, & Hapuarachchi, 2013):

A. Detección terrestre móvil: Corresponde al desplazamiento de vigilantes en una área dada, en un apropiado medio de transporte o a pie. En varios países se tienen una amplia utilización a nivel de predio, especialmente en el caso de empresas forestales, donde se la combina con la supervisión de faenas. Entrega información completa sobre el incendio a la vista y posibilita luego un primer ataque al fuego, pero la observación no es continua, ya que, durante el recorrido, pasará un cierto tiempo para volver a pasar y vigilar un mismo sector.

B. Detección terrestre fija: Se basa en la visión de un Observador desde estructuras metálicas o de madera, de 15 a 30 m de altura, denominadas torres, o bien de casetas de menor altura llamadas puestos de detección. Se construyen en cerros de altura prominente, desde los cuales se vigila el área en un radio estimado en 20 km, o más

usando prismáticos. Avistado un fuego el Observador recopila la información necesaria sobre las características del fuego y del terreno y la transmite por radio a los organismos de socorro. La observación en el área es permanente, casi ininterrumpida y la comunicación por radiotransmisor es fácil y estable. Pero no todo el terreno está a la vista, habrá puntos ciegos en el lado oculto de los cerros, que retardarán en algunos minutos la detección hasta que el humo sea visible por sobre el terreno.

C. Detección aérea: Se basa en la utilización de aviones, generalmente monomotores de ala alta, para detectar incendios desde el aire. El piloto es acompañado por un Observador, quien es el que realiza propiamente la observación. Permite observar una gran cantidad de superficie por unidad de tiempo y entrega una gran cantidad de información precisa y exacta acerca del incendio descubierto y sobre el cual se vuela. Pero su costo de operación es alto.

D. Detección con sistemas televisivos: Utilizan cámaras de televisión que transmiten su señal por microondas hasta las pantallas de un puesto de mando, por ejemplo en un vehículo en terreno, donde su personal o un software analizan la situación según la visión en pantalla. Las cámaras pueden estar instaladas sobre torres ubicadas en la cumbre de un cerro, barriendo el área en 360°, o bien instaladas en el exterior de aviones e, incluso, en aviones no tripulados.

E. Satélites: Hay áreas en el mundo donde, debido a la carencia de organizaciones de protección contra incendios forestales o de sistemas de detección, la única

posibilidad de conocer lo que ocurre es usando imágenes de satélite de órbita baja, por ejemplo de los satélites Aqua y Terra.

Sin embargo, para detección esta modalidad es lenta, dado el tiempo entre pasadas del satélite. No aporta, además, el detalle que entregan los medios convencionales basados en la vista y discernimiento humano. La percepción satelital, en todo caso, permite monitorear cambios en la condición de la vegetación (contenido de humedad) durante la temporada (NDVI, índice normalizado de diferencias en la vegetación); medir exactamente superficies en incendios de magnitud y monitorear cambios o recuperación de la vegetación después del fuego. Equipos de científicos de varios países han calculado que los incendios forestales liberan a la atmósfera el equivalente al 50% del dióxido de carbono (CO₂) causado por la quema de combustibles fósiles. Ello significa que sus efectos sobre el cambio climático han sido subestimados, aseguran estos expertos. Por ello, piden, en un estudio publicado en la revista "Science", que el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, sus siglas en inglés) tenga en cuenta este dato en sus informes y modelos del clima. (Gai, Weng, & Yuan, 2011)

"Se calcula que la deforestación provocada sólo por los incendios intencionados representa una quinta parte del efecto invernadero de origen antropogénico y ese porcentaje puede aumentar" (Sowah, Ofoli, Krakani, & Fiawoo, 2014), señala uno de los autores del estudio, Thomas Swetnam, de la Universidad de Arizona (Estados Unidos). El fuego constituye "un catalizador primario del cambio climático global", afirma Swetnam, apunta que la investigación también pretende alertar a los científicos para que investiguen y evalúen mejor los efectos de los incendios sobre el planeta.

Por otro lado, la infraestructura tecnológica y las redes de sensores (inalámbricos generalmente) ayudara a comprender casos cada vez más prácticos y menos académicos de la obtención de datos correlacionados, permitiendo manejar modelos nuevos, sustentados científicamente como objetos totalmente intuitivos. (Liu, Wang, Zhou, & Wang., 2010) La elección de la tecnología y forma de comunicación adecuada hará que este proyecto sea la base sobre la cual se desarrollarán futuras iniciativas que aporten a la implementación de una infraestructura Smart Rural (Territorios Digitales rurales inteligentes).

3.1 Problema

Aproximadamente 1000 incendios forestales en el 2015 quemaron más de catorce mil de hectáreas de bosques y pastizales en el Ecuador. Ni el número de incendios forestales ni la magnitud de los mismos han mostrado indicios de disminución y aún se desconocen las causas que provocaron más del 30% de ellos. (Riesgos, 2015)

En los últimos años las tecnologías de redes inalámbricas han presentado un acelerado desarrollo en la implementación de redes de sensores inalámbricos (WSN) debido a su bajo consumo de potencia y hace posible que dispositivos como los nodos de una red inalámbrica pueden comunicarse directamente con otros dispositivos IP; es por ello, que este tipo de redes se las puede aplicar en el monitoreo de temperatura.

Los incendios forestales se han convertido en la principal amenaza para los cerros y bosques en el Ecuador y en algunos sectores específicos en varias provincias como es el caso del Bosque Protector Guayabillas en la ciudad de Ibarra, en donde los incendios forestales tienen su origen, casi en su totalidad, en el ser humano y sus actividades. Salvo

unos pocos incendios causados por caídas de rayo durante tempestades eléctricas, la mayoría de ellos son ocasionados por descuidos o negligencias en la manipulación de fuentes de calor en presencia de vegetación combustible, por prácticas agrícolas casi ancestrales, por una escasa cultura ambiental o por intencionalidad originada en motivaciones de distinto tipo, incluso la delictiva.

Para la Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos la prevención de incendios forestales es el conjunto de actividades destinadas a evitar que por acción u omisión de las personas, se originen incendios forestales, y a intervenir previamente la vegetación para impedir o retardar la propagación del fuego, en el caso que se produzca un incendio.

Por lo anteriormente expuesto se formula el problema:

Existe una falta de sistemas de alerta temprana de incendios forestales, que con ayuda de la tecnología en sensores e IoT ayude a la recolección y posterior análisis de información que permita la intervención de los organismos de socorro, convirtiendo al presente desarrollo en una herramienta fundamental a la hora de proteger al medioambiente.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General:

Implementar un prototipo de monitoreo de incendios forestales basado en IoT y PaaS utilizando una configuración de una red de sensores bajo el estándar IEEE 802.15.4 para la recolección de información que permita la rápida intervención de los organismos de socorro.

4.2 Objetivos Específicos:

- 1. Analizar el estado del arte respecto al protocolo IEEE 802.15.4, IoT Y PaaS, y su utilización para redes de sensores inalámbricos.*
- 2. Diseñar la red de sensores para la recolección de la información en tiempo real de los parámetros a medir.*
- 3. Realizar las pruebas de funcionamiento de la red de sensores, junto con el análisis de los datos a transmitir para determinar el tráfico a ser enviado a la nube y las alertas hacia los organismos de socorro.*
- 4. Realizar un análisis costo beneficio del proyecto que servirá como base para la implementación del sistema de monitoreo de incendios forestales*

5. Desarrollo Del Caso De Estudio

En este apartado se analiza el estado del arte del Internet de las Cosas y las redes inalámbricas de sensores (WSN¹) con sus características, elementos que la conforman, topologías y aplicaciones, además tratan puntos importantes acerca del estándar IEEE 802.15.4, sus características y arquitectura; además de entender cómo funciona el Hardware Libre así como sus ventajas; posteriormente se analizan temas acerca de la Nube (Cloud Computing), sus tipos y niveles de servicios.

A continuación se estudian los sensores utilizados en la detección de variables generadas en un incendio forestal y los detalles necesarios sobre la teoría del fuego que es el fenómeno a monitorear así como el estado del arte de sistemas contra incendios de producción.

A continuación se procede con el diseño del Sistema de Alerta Temprana de Incendios Forestales y las pruebas de funcionamiento respectivas.

Para finalmente complementar con el estudio de factibilidad económica de la propuesta planteada mediante el análisis costo – beneficio para el Caso de Estudio.

¹ WSN: Wireless Sensor Network.

5.1. Estado del arte respecto al protocolo IEEE 802.15.4, IoT y PaaS, y su utilización para Redes de Sensores Inalámbricos.

A continuación se muestra un análisis de las principales características y conceptos como IoT, WSN, la Nube, PaaS así como teoría del fuego y un resumen sobre las funcionalidades de sistemas contra incendios de producción a nivel mundial.

5.1.1. Internet of Things

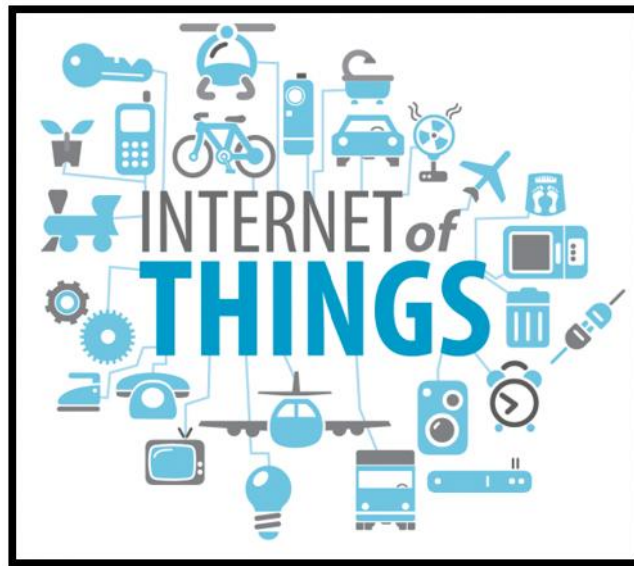


Figura 1. Internet of Things

Fuente: LinkedIn - Internet of Things. Obtenida de: <https://www.linkedin.com/topic/internet-of-things>

El Internet de las Cosas, como se observa en la infografía de la Figura 1, es el componente tecnológico fundamental sobre el que sienta sus bases el paradigma de la Industria 4.0. Y aunque pudiese parecer de otra forma, dada su omnipresencia en cualquier artículo o discusión tecnológica, el término “Internet de las Cosas” es bastante reciente. Fue en 2009 cuando Kevin Ashton, profesor del MIT en aquel entonces, usó la expresión

Internet of Things (IoT) de forma pública por primera vez, y desde entonces el crecimiento y la expectación alrededor del término ha ido en aumento de forma exponencial. Fue en el *RFID journal* (Aston, 2009) cuando Ashton acuñó públicamente el término. Aunque él mismo ha comentado que la expresión era de uso corriente en círculos internos de investigación desde 1999, si bien no se hizo público de forma notoria hasta entonces:

*“Si tuviésemos ordenadores que fuesen capaces de saber todo lo que pudiese saberse de cualquier cosa –usando datos recolectados sin intervención humana seríamos capaces de hacer seguimiento detallado de todo, y poder reducir de forma importante los costes y malos usos. Sabríamos cuándo las cosas necesitan ser reparadas, cambiadas o recuperadas, incluso si están frescas o pasadas de fecha. El **Internet de las Cosas** tiene el potencial de cambiar el mundo como ya lo hizo Internet. O incluso más.”*

Ante la popularización de Internet, la idea de conectar objetos mediante esta red empezó pronto a popularizarse. Ya en 1990 John Romkey, un ingeniero del Xerox PARC en EEUU, creó el primer objeto conectado a Internet: una tostadora que se podía encender o apagar en remoto.

La conectividad fue a través del ya mencionado protocolo TCP/IP y el control se realizó mediante SNMP (Simple Network Management Protocol), protocolo de gestión de red, que se usó para controlar el encendido y apagado del electrodoméstico.

A pesar de suponer una revolución en la forma de entender las redes, las comunicaciones que Internet ofrecía en el origen de su expansión mundial eran

principalmente cableadas. Esto, unido a que el coste del hardware era aún elevado, hizo que las ideas que podían llevar a implementar objetos conectados prácticamente pasasen inadvertidas durante mucho tiempo.

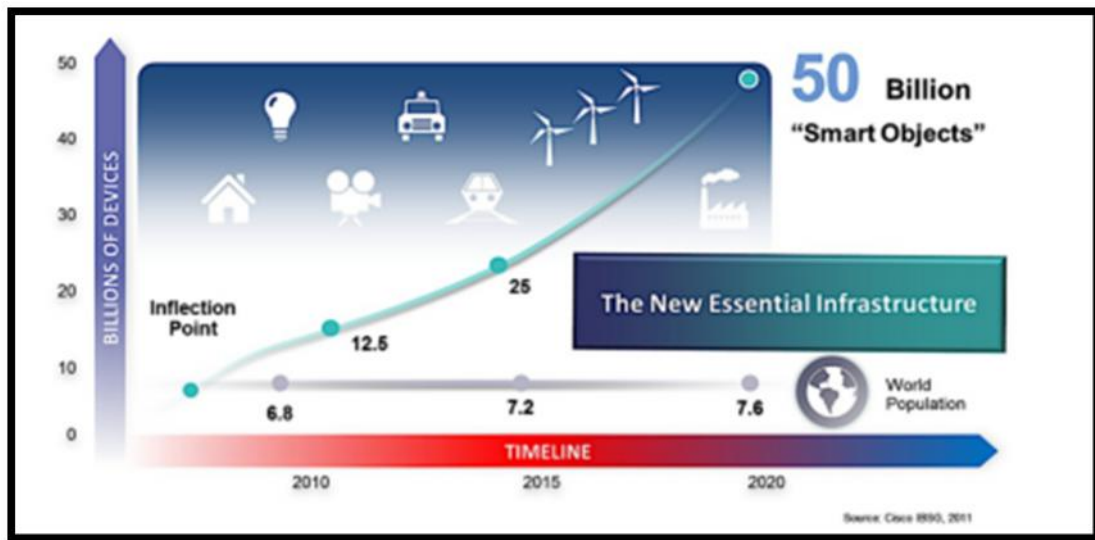


Figura 2. Dispositivos conectados por Internet y su evolución futura

Fuente: CISCO (Evans, 2011)

Como se muestra en la Figura 2, IoT es la nueva estructura que, según las predicciones, en el 2020 conectará 50 millardos de objetos inteligentes cuando la población mundial alcance los 7,6 millardos. Como sugiere la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) (Antonio Linan Colina, 2015), esta estructura fundamental se construirá alrededor de una arquitectura multicapas en la cual los objetos inteligentes se usarán para prestar diferentes servicios a través de las cuatro capas principales representadas en la figura 3: una capa del dispositivo, una capa de red, una capa de soporte y una de aplicación.

La capa del dispositivo contiene los dispositivos (sensores, actuadores) y pasarelas (*gateways*) que se usan para recolectar las lecturas del sensor para su

procesamiento posterior, mientras que la capa de red proporciona el transporte necesario y las capacidades de red para enrutar los datos de IoT a los sitios de procesamiento.

La capa de soporte es una capa intermedia (*middleware*) que sirve para esconder la complejidad de las capas inferiores a la capa de aplicación y para dar servicios específicos y genéricos tales como almacenamiento bajo formas diferentes (sistemas de manejo de base de datos y/o sistemas de computación en la nube), así como otros servicios, por ejemplo traducción. (Antonio Linan Colina, 2015)

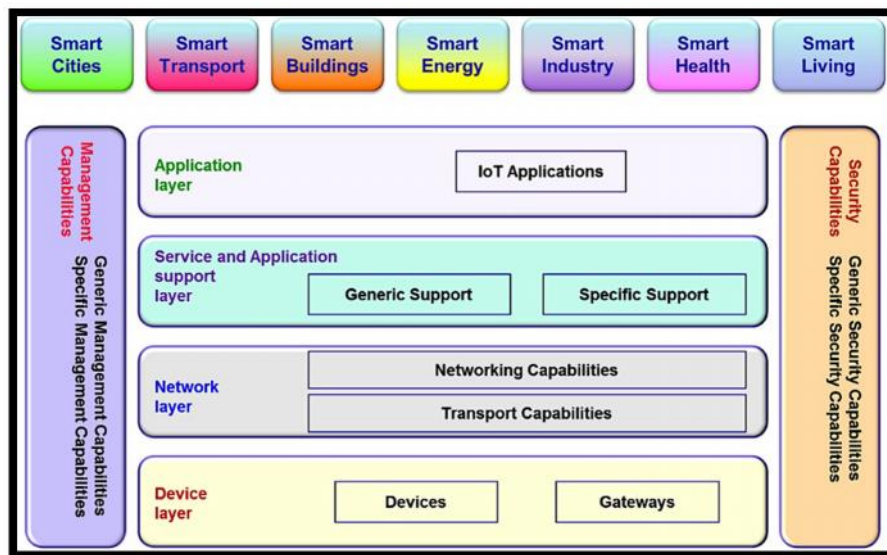


Figura 3. Arquitectura de Capas de IoT

Fuente: (Antonio Linan Colina, 2015)

Como se describe en la Figura 4, la IoT puede concebirse como una estructura que ofrece servicios de aplicación habilitados por varias tecnologías. Los servicios de aplicación permiten la dotación de inteligencia a ciudades, servicios de transporte, edificios, manejo de la energía, de la industria, y de la salud, apoyándose en diferentes tecnologías como sensores, nanoelectrónica, redes de sensores inalámbricos (*wireless*

sensor network: **WSN**), identificación de radio frecuencia (**RFID**), localización, almacenamiento y nube.

Los sistemas y aplicaciones de la IoT están diseñados para proporcionar seguridad, privacidad, protección, integridad, confianza, fiabilidad, transparencia, anonimato, y están sujetos a limitaciones éticas.

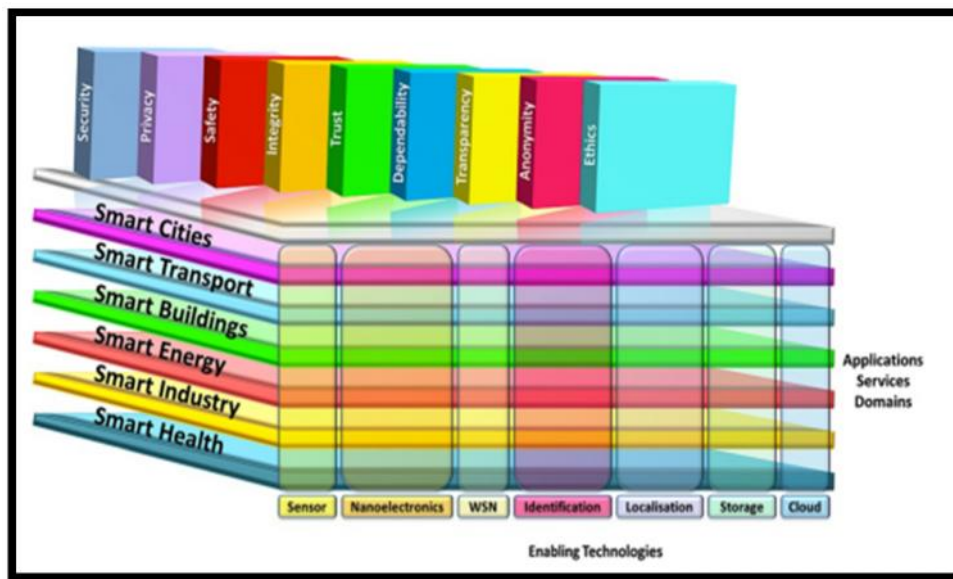


Figura 4. Vista Tridimensional de IoT

Fuente: (Antonio Linan Colina, 2015)

Los expertos comentan que la dirección de esta tecnología se dirige hacia lo que podría llamarse una “sociedad de red ubicua”, en la cual las redes y los dispositivos interconectados son omnipresentes. La RFID y los sensores inalámbricos prometen un mundo de dispositivos en red interconectados que ofrecen contenido e información relevantes dondequiera que el usuario se encuentre. Todo, desde una llanta a un cepillo de dientes, estará dentro de la cobertura de la red, anunciando el amanecer de una nueva era en la cual la Internet de hoy (de datos y gente) ceda el paso a la Internet de las Cosas del mañana. (Antonio Linan Colina, 2015)

Al principio de la revolución de Internet los usuarios quedaban sorprendidos ante la posibilidad de establecer contacto con la gente u obtener información de cualquier parte del mundo y en diferentes zonas horarias. El próximo paso en esta revolución tecnológica es el de conectar objetos inanimados a una red de comunicación a cualquier hora, en cualquier lugar.

La visión que subyace a la Internet de las Cosas permitirá el acceso a la información no sólo a “cualquier hora” y en “cualquier lugar” sino también usando “cualquier cosa”. Esto será facilitado con el uso de las WSN y etiquetas RFID para extender el potencial de comunicación y monitoreo de la red de redes, así como para incorporar capacidades de computación en objetos y actividades de uso diario como afeitadoras, zapatos, embalaje. (Antonio Linan Colina, 2015)

Las WSN son una forma temprana de redes ubicuas de información y comunicación por lo tanto son uno de los bloques que constituyen a la Internet de las Cosas.

5.1.2. Redes Inalámbricas

Al hablar de la comunicación mediante redes inalámbricas, se abarcan varias tecnologías donde se han venido desarrollando este tipo de comunicaciones, a tal punto en el que tecnologías como la telefonía fija poco a poco se ha venido reemplazando por la telefonía móvil, el tener acceso a la Internet mediante cualquier dispositivo personal cada vez en más fácil y asequible.

Las redes inalámbricas permiten a un usuario o dispositivo mantenerse conectado haciendo énfasis a la movilidad y en el no uso de cableado dentro de un área específica. En el sitio web de Comunidad Informática CCM, 2015 indica que: “Las redes inalámbricas se basan en un enlace que utiliza ondas electromagnéticas en lugar de cableado estándar. Hay muchas tecnologías diferentes que se diferencian por la frecuencia de transmisión que utilizan, y el alcance y la velocidad de sus transmisiones”.

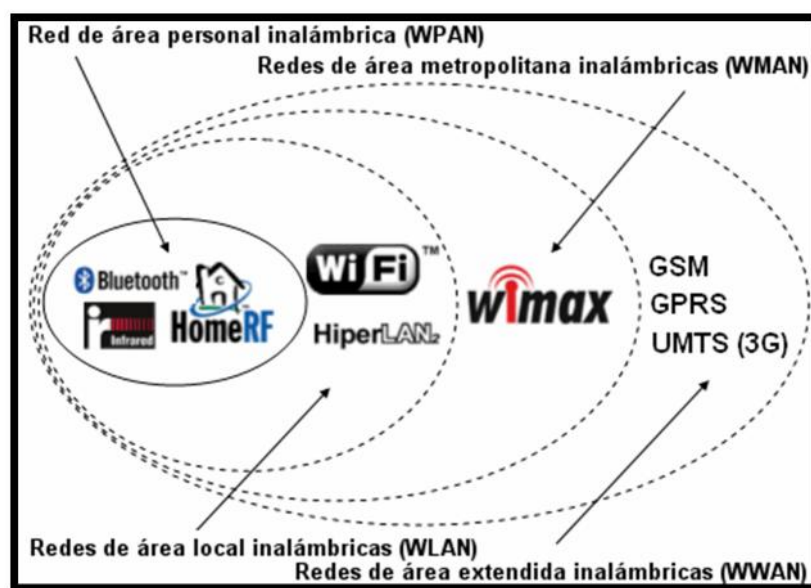


Figura 5. Clasificación de Redes Inalámbricas

Fuente [www. Kioskea.net](http://www.kioskea.net) Obtenida de:

<http://static.commentcamarche.net/es.kioskea.net/pictures/wireless-images-wpan-wlan-wman-wwan.png>

Como muestra la Figura 5, está la clasificación de las redes inalámbricas de acuerdo al alcance, y según el estándar al cual se establecen y a continuación esta la descripción de cada uno.

- **WPAN.- Redes de Área Personal.** Redes de corto alcance que comprende alrededor de 10 metros, se basa en los estándares 802.15, normalmente utilizadas

para conectar varios dispositivos portátiles personales sin necesidad de cables.
(Camargo, 2009)

- **WLAN.- Redes de Área Local.** Es una red que cubre un equivalente a una red local de una empresa, permite que los usuarios puedan movilizarse en un área específica, se basa en los estándares 802.11.
- **WMAN.- Redes de Área Metropolitana.** Estas redes ofrecer una velocidad efectiva de 1 a 10 Mbps teniendo un alcance de hasta 10 kilómetros, Wimax es una de las tecnologías que pueden llegar a tener velocidades de 70 Mbps en una radio de varios kilómetros. Se basa en el estándar 802.16.
- **WAN.- Redes de Área Extensa.** Tienen el alcance más amplio entre todas las redes inalámbricas, un ejemplo de este tipo de red son las tecnologías de la telefonía móvil, como GSM, UMTS, HSPA, LTE, etc. (ComunidadInformatica, 2014)

5.1.2.1. Redes Inalámbricas de Sensores (WSN)

“Una red inalámbrica de sensores está compuesta por una cantidad de pequeños dispositivos, autónomos, distribuidos físicamente, llamados nodos de sensores, instalados alrededor de un fenómeno para ser monitoreado, con la capacidad de almacenar y comunicar datos en una red en forma inalámbrica.” (Vásconez, 2013)

Una WSN es una red inalámbrica de dispositivos de censado. Las WSN son sistemas distribuidos constituidos por dispositivos de bajo consumo de energía, con

capacidades de censado y comunicación. Los dispositivos que conforman dichas redes se les denominan nodos sensores o motas (moten) y están limitados en su capacidad computacional y de comunicación. Sin embargo trabajan de forma colaborativa para llevar la información de un punto a otro de la red transmitiendo pequeños mensajes de un nodo a otro.

Se puede decir que una WSN está conformada por pequeños dispositivos que contienen distintas capacidades de procesamiento, sensitiva y una comunicación de tipo inalámbrica, esto con el fin de recolectar información del entorno en donde se encuentran, para luego esta misma información procesarla y retransmitirla hacia otros dispositivos de iguales o similares características mediante un protocolo de encaminamiento adecuado.

5.1.2.2. Elementos de una WSN

Una red de sensores inalámbricos típicamente está conformado por cuatro elementos fundamentales como son:

- Nodos sensores
- Gateway
- Estación base
- Red inalámbrica

Basados en los elementos ya mencionados se puede expresar gráficamente la estructura de la red como se muestra en la Figura 6.



Figura 6. Elementos de una WSN

Fuente: Elementos de una WSN. Obtenida de:

http://zone.ni.com/cms/images/devzone/epd/WSN_Logger_System_Diagram.jpg

Cada uno de los elementos que conforman la WSN cumplen con funciones específicas que se detallaran más adelante, pero de forma general el desempeño de la WSN es realizar mediciones de determinados factores en el medio que se encuentre, procesar dicha información (Conversión Análogo/Digital), transmitirla de manera inalámbrica la información hacia un nodo central (Gateway) quien permite comunicar a la red con la estación base de mayores prestaciones de procesamiento y almacenamiento de información.

5.1.2.2.1. Nodo Sensor

Fernández et al. (Fernández Martínez, 2009) se refiere a un nodo sensor como un nodo inalámbrico: “Los nodos inalámbricos se llaman motas, del inglés ‘mote’, por su ligereza y reducido tamaño. Son dispositivos electrónicos capaces de captar información

proveniente del entorno en el que se encuentran, procesarla y transmitirla inalámbricamente hacia otro destinatario”. (p. 18)

Un nodo es un dispositivo electrónico que contiene una o varias unidades de sensores con un módulo conversor Análogo/Digital, una unidad de procesamiento, una unidad de comunicación y una unidad de energía; todas estas unidades convergen en un solo dispositivo que mediante una configuración adecuada se los puede utilizar para distintos fines.

El nodo sensor es el encargado de recibir información proveniente del medio en el que se encuentra a través de los sensores, esta información de tipo analógica es transformada a digital a través de un módulo conversor Análogo/Digital para luego ser entregada a la unidad de procesamiento donde se recibe la información para procesarla de tal manera que tenga un formato adecuado para ser enrutada y transmitida hacia la red inalámbrica de sensores, específicamente hacia el nodo Gateway, el cual se comporta como un tipo de interfaz de comunicación entre la WSN y la estación base.

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), en el estándar 802.15.4 explica que los nodos según su capacidad de procesamiento se dividen en Nodos de Funcionalidad Total (Full Function Device o FFD) y Nodos de Funcionalidad Reducida (Reduced Functions Device o RFD).

Con respecto a la función que cada nodo cumple en la red se clasifican en tres tipos:

- **Coordinador:** Es un nodo principal y único en la red de tipo FFD², el cual se encarga de construir la red y gestionar la comunicación entre los dispositivos.
- **Router:** Puede existir uno o más nodos router, es de tipo FFD y se encarga de interconectar nodos finales hacia la red, esto mediante el enrutamiento de la información entregada por los nodos finales hacia el coordinador.
- **Nodo Final:** Este nodo a diferencia de los anteriores es de tipo RFD³, es decir no realiza tareas de gestión ni enrutamiento, solo puede comunicarse con nodos del mismo tipo.

5.1.2.2.2. *Unidad De Sensores*

A esta unidad la conforman dos bloques electrónicos como son los sensores y el ADC⁴. Los sensores se encargan de recoger información respecto a los diversos parámetros a controlar y se la envían, bien al dispositivo de control centralizado, bien directamente al dispositivo actuador, en el caso de una instalación distribuida.

Un sensor es el encargado de recolectar información del medio donde se encuentra, para esta información enviarla a un destino predeterminado. La información recolectada será de tipo analógica por lo cual deberá ser transformada a digital para que la unidad de procesamiento que es la que recibe los datos entienda los mismos, es decir, manejen un mismo lenguaje de comunicación, y esto se logra mediante un módulo conversor Análogo/Digital.

² FFD: Full Function Device.

³ RFD: Reduced Functions Device.

⁴ ADC: Conversor Análogo Digital.

Benchimol (Benchimol, 2011), explica que es un conversor A/D:

Los conversores A/D son dispositivos que convierten una variación analógica en formato digital. Son indispensables en los lazos de control cerrados digitales; se podría decir que son los “ojos” de los microprocesadores y de los microcontroladores. (p.70)

Sin los ADC no habría una comunicación coherente entre los datos recolectados (analógicos) y el procesamiento (digital) de los mismos en la unidad de procesamiento que tiene como base un microprocesador. Los sensores junto al ADC trabajan de forma ideal para establecer una comunicación entre el medio y el dispositivo electrónico (nodo sensor).

5.1.2.2.3. *Unidad De Procesamiento*

En esta unidad pertenecen el procesador y la memoria, dos bloques complementarios para obtener una unidad de procesamiento adecuada.

- *Procesador*

En su estudio Fernández et al. (Fernández Martínez, 2009) Manifiestan que un procesador “es el componente que interpreta y procesa los datos para transmitirlos a otra estación. También gestiona el almacenamiento de datos en la memoria”. (p. 19)

Así mismo Fernández et al. (Fernández Martínez, 2009) dan a conocer los tipos de procesadores que existen en el mercado, como son:

- *Microprocesadores*: Han sido sustituidos por los microcontroladores, ya que éstos integran dentro de un mismo dispositivo, un microprocesador y memoria.
- *Microcontroladores*: Como se ha dicho, incluyen un microprocesador y memoria, pero además tienen una interface para ADCs, UART⁵, SPI⁶, USB⁷ temporizadores y contadores. Hay muchos tipos de microcontroladores que van desde los 4 bits hasta 64 bits, con una variación del número de temporizadores, diferentes tipos consumos de energía,... (p. 19)
- *Memoria*

Las memorias cumplen una función muy importante: permiten almacenar todos los datos desde el exterior, mientras que se van procesando hasta que finalmente ya no son necesarios y se eliminan.

Hay diferentes tipos de memorias como son la memoria RAM⁸, la memoria ROM⁹, la memoria PROM¹⁰ y la memoria EPROM¹¹. El tipo de memoria EPROM ha ido evolucionando a EEPROM¹² o Flash EPROM.

Como se puede observar, la unidad de procesamiento actualmente usa microcontroladores por el hecho de que poseen varios módulos dentro de un mismo

⁵ UART: Universal Synchronous Receiver Transmitter

⁶ SPI: Serial Port Interface

⁷ USB: Universal Serial Bus

⁸ RAM: Random-Access Memory

⁹ ROM: Read-Only Memory

¹⁰ PROM: Programmable Read-Only Memory

¹¹ EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory

¹² EEPROM: Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

encapsulamiento, además a estos dispositivos sin importar que ya cuentan con una memoria para su funcionamiento se la puede agregar una o más memorias externas con el fin de mejorar la capacidad de almacenamiento de la información.

5.1.2.2.4. Unidad De Comunicación

Esta unidad se encarga de la transmisión de datos de forma inalámbrica, esto se logra con la utilización de un transceptor, el cual es capaz de recibir o emitir señales de radio frecuencia desde o hacia otros nodos que se encuentren dentro de la WSN.

El dispositivo de comunicación se trata de un elemento que vía radio que permite enviar y recibir datos para comunicarse con otros dispositivos dentro de su rango de transmisión.

Refiriéndose a este tema Fernández et al. (Fernández Martínez, 2009) indica que:

Los nodos usan la banda ISM¹³ que son bandas reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica. El uso de estas bandas está abierto a todo el mundo sin necesidad de licencia, respetando las regulaciones que limitan los niveles de potencia transmitida. (p. 21)

5.1.2.2.5. Unidad De Energía

¹³ ISM: Industrial, Scientific and Medical

San Miguel (San Miguel, 2009) como definición de una unidad de energía o fuente de alimentación explica que “las fuentes de alimentación son fundamentales para proporcionar las tensiones continuas a las que funcionan todos los circuitos construidos a base de semiconductores”. (p. 215)

Una unidad de energía puede ser la red eléctrica o una batería, en el caso de los nodos sensores e incluso los nodos centrales por lo general usan baterías de larga duración y que pueden trabajar en conjunto con un panel solar para obtener carga durante el día, mientras que los nodos coordinadores generalmente están conectados a la red eléctrica y por medio de una circuito conversor AC/DC ¹⁴ reciben la carga necesaria para su funcionamiento.

5.1.2.2.6. *Gateway*

Fernández et al. (Fernández Martínez, 2009) interpretan a un Gateway como los “elementos para la interconexión entre la red de sensores y una red de datos (TCP/IP¹⁵)”. (p. 22)

Describiendo de una forma sencilla, un Gateway vendría a ser una interfaz de comunicación entre dos tipos de redes distintas con infraestructuras diferentes, al tener dicha interfaz la red externa puede tener acceso a los datos de la WSN y viceversa, esto mediante parámetros que el administrador crea conveniente.

¹⁴ AC/DC: Corriente Alterna/Corriente Directa

¹⁵ TCP/IP: Protocolo de control de transmisión/Protocolo de Internet

5.1.2.2.7. *Estación Base*

La estación base viene a ser una interfaz entre la WSN y la red externa, donde se pueden almacenar o procesar la información obtenida de la WSN a través del Gateway. Esta información está al alcance del usuario y mediante un aplicativo podrían acceder local o remotamente.

La estación base puede ser un sistema embebido que interactúa con un servidor web y una base de datos, tanto para recolectar históricamente la información que ingresa a él, como para dar tratamiento a la información y presentarla a los usuarios.

5.1.2.2.8. *Red Inalámbrica.*

La red inalámbrica viene a ser la comunicación de todos los nodos sensores con su Gateway vía radio frecuencia, con el fin de transmitir o recibir información.

Para ello Fernández et al. (Fernández Martínez, 2009) mencionan que “los medios a elegir para realizar una comunicación inalámbrica son varios, radio frecuencia, comunicación óptica mediante laser e infrarrojos”. (p. 21)

Las WSN usan frecuencias de comunicación que van desde los 433 MHz¹⁶ y 2.480 GHz¹⁷ en la banda ISM.

¹⁶ MHz: Megahercio

¹⁷ GHz: Gigahercio

Gómez, Paradells y Caballero (2010) detallan que las bandas de frecuencia más utilizadas en redes WSN son cuatro: (430 – 434) MHz, (865 – 870) MHz, (902-928) MHz y (2400 – 2483.5) MHz. Se suelen denominar por la frecuencia típica de uso, que en cada caso es 433 MHz, 868 MHz, 915 MHz y 2,4 GHz respectivamente. Estas bandas han sido asignadas por la ITU¹⁸ y se reservan para uso privado y no licenciado, aunque en algún caso pueden estar sujetas a ciertas restricciones dependiendo de la regulación nacional o regional correspondiente. Salvo la banda de 915 MHz, el resto se emplea habitualmente en Europa. (p. 32)

5.1.2.3. Topologías de una red inalámbrica de sensores.

Las topologías de las WSN, como se muestra en la Figura 7, permiten que los datos recolectados por los sensores elijan caminos lógicos para que éstos sean transportados, mediante la comunicación inalámbrica, hacia una estación, entre estas se pueden destacar:

- **Punto a punto:** la comunicación es más sencilla por ser nodo a nodo; pero uno debe ser coordinador para establecer la comunicación. (Cianca, 2012)
- **Estrella:** el coordinador se sitúa en el centro y los nodos alrededor de éste para establecer una comunicación, tomando en cuenta que los nodos finales no se comunican directamente, sino a través del nodo central; la ventaja de éste es que consume menos energía pero al contrario limita la distancia de comunicación base o hacia otro nodo. (Cianca, 2012)

¹⁸ ITU: Unión Internacional de la Telecomunicaciones

- **Árbol:** cada nodo mantiene una sola trayectoria de comunicación directa al coordinador pero puede usar otros nodos para enrutar sus datos a esa trayectoria. Esta topología tiene un problema que si el nodo ruteador falla, todos los nodos que dependen de éste también pierden sus trayectorias de comunicación con el coordinador. (Cianca, 2012)
- **Malla:** los nodos mantienen múltiples trayectorias de comunicación al coordinador, si algún nodo ruteador falla, la red automáticamente enruta los datos a través de una trayectoria diferente. La topología de malla, aunque es muy confiable, sufre de incremento de latencia de red ya que los datos deben hacer múltiples saltos antes de llegar al coordinador. (Cianca, 2012).

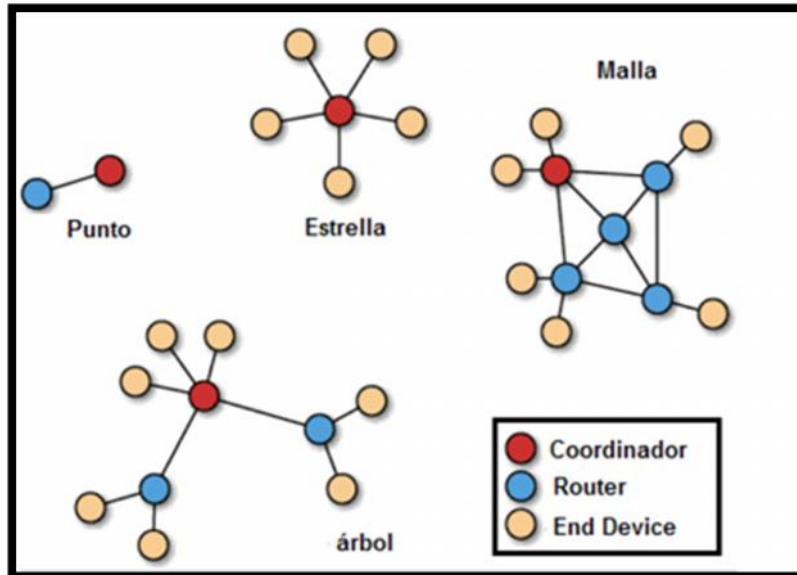


Figura 7. Topologías WSN

Fuente: (Faludi, 2010)

5.1.2.4. *Aplicaciones de las WSN*

La integración de estos dispositivos ubicuos y minúsculos en los escenarios más variados asegura una gama amplia de aplicaciones. Entre las más comunes están el monitoreo ambiental, la agricultura, salud, y seguridad. En una aplicación típica, una WSN según (Antonio Linan Colina, 2015) incluye:

- *Rastreo de movimiento de animales.* Una gran red de sensores se ha desplegado para estudiar el efecto de factores microclimáticos en la selección de hábitats de aves marinas en Great Duck Island, de Maine, EEUU. Los investigadores emplazaron los sensores en las madrigueras y usaron el calor para detectar la presencia de aves anidando, obteniendo de esta manera datos muy valiosos para la investigación biológica. El despliegue fue heterogéneo ya que emplearon nodos en las madrigueras y nodos climáticos.
- *Detección de incendios forestales.* Puesto que los nodos sensores pueden ser emplazados estratégicamente en un bosque, pueden informar al usuario final sobre el punto de origen del fuego antes de que este se vuelva incontrolable. Los investigadores de la Universidad de California en Berkeley demostraron la factibilidad de la tecnología de nodos sensores en casos de incendio con su aplicación FireBug.
- *Detección de inundaciones.* Un ejemplo de esto es el sistema ALERT instalado en los EUA. Este utiliza sensores que detectan la cantidad

de lluvia, nivel del agua y condiciones climáticas. Estos sensores proporcionan información a una base de datos centralizada.

- *Investigación geofísica.* Un grupo de investigadores de Harvard instalaron una red de sensores en un volcán activo en Sudamérica para monitorear actividad sísmica y condiciones similares relacionadas con la erupción de volcanes.
- *Agricultura.* Incluye el monitoreo detallado de la agricultura y las condiciones que afectan las cosechas y el ganado. Muchos de los problemas para el manejo de las granjas para maximizar la producción y a la vez alcanzar objetivos ecológicos pueden resolverse sólo a través de una cantidad de datos pertinentes. Las WSN pueden también usarse en el control del comercio, particularmente para la preservación de productos cuyo mantenimiento depende de condiciones controladas.
- *Mantenimiento preventivo (Seguridad).* El proyecto Loch Rannoch de BP desarrolló un sistema comercial para usar en las refinerías. El sistema monitorea maquinaria rotatoria crítica para evaluar sus condiciones de operación e informar cuando hay desgaste o roturas. De esta manera se puede predecir el desgaste de la máquina y realizar un mantenimiento preventivo. Las redes de sensores se pueden usar para detectar agentes químicos en el aire y en el agua. Pueden también ayudar en la identificación del tipo, la concentración y la ubicación de agentes contaminantes.

- *Salud*. Bi.Fi, un sistema de arquitectura imbuida para el monitoreo de pacientes internos de un hospital, o para el cuidado de pacientes externos. Fue concebido en UCLA y se basa en la arquitectura SunSPOT de Sun. Las motas miden datos biológicos de como señales neurológicas, oximetría del pulso y electrocardiografías. Después las motas interpretan, filtran y transmiten estos datos para permitir una intervención temprana.

5.1.3. Sensores.

(Pallás, 1993) indica que los sensores “son los elementos de un sistema que lo conectan con su entorno físico, excluido el usuario. La función de los sensores es obtener señales eléctricas en respuesta a magnitudes de entrada no eléctricas”. (p. 27)

Los sensores pueden entregar señales de tipo analógico o digital como respuesta a una magnitud física, el tipo de sensor dependiendo del medio donde se encuentre puede ser eléctrico/electromagnético, óptico, mecánico, acústico, etc. Hoy estos dispositivos son ampliamente usados en temas de monitoreo ambiental, industrial, agrícola, hídrico, espacial y muchos campos más.

5.1.4. Estándar IEEE 802.15.4.

Con el afán de generar un estándar con el propósito de brindar redes inalámbricas para áreas personales de bajo consumo y de bajo coste surge el protocolo IEEE 802.15.4.

Este estándar se encuentra definido para trabajar en las capas: física y la subcapa MAC, esto implica que se encarga de definir el nivel físico de la red y el medio de acceso que se tendrá, la Figura 8 muestra las capas en las que trabaja el protocolo 802.15.4., que son las capas Física y Acceso al Medio.

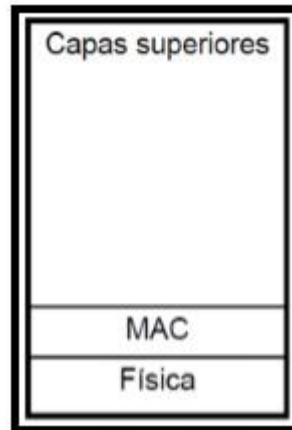


Figura 8. Modelo Estándar IEEE 802.15.4

Fuente: Elaborado por el Autor.

El protocolo IEEE 802.15.4 fue desarrollado para que trabaje en ambientes complejos, en la cual puede existir colisión de tramas, pérdida de datos, etc., para lo cual existen métodos los que permiten que el estándar llegue a ser robusto.

5.1.4.1. Capa Física

La capa física actúa como una interfaz entre el medio de transmisión y las capas superiores, para este caso el medio de transmisión será inalámbrico. El estándar IEEE 802.15.4 ofrece dos opciones en esta capa para tener un amplio rango de aplicaciones deseado, esto se basa principalmente en las frecuencias de trabajo existentes que proporciona el estándar, y son:

- La PHY que trabaja en frecuencias de 868/915 MHz con bajas velocidades de 20/40 kbps.
- La PHY que trabaja en frecuencias de 2,4 GHz llegando a velocidades de 240 kbps.

En el estándar se definen 27 de canales de operación de acuerdo a los rangos de frecuencia existentes. Para la PHY de 868/915 MHz soporta un canal entre los 868 y 868,6 MHz y 10 canales entre 902 y 928 MHz. La PHY de 2,4 GHz soporta 16 canales los cuales van desde 2,4 hasta 2,4835 GHz con un espacio entre canales de 5 MHz. (Mayné, 2011).

En la Figura 9, se puede ver de mejor manera como se encuentran divididos los canales en la cual trabaja el estándar IEEE 802.15.4.

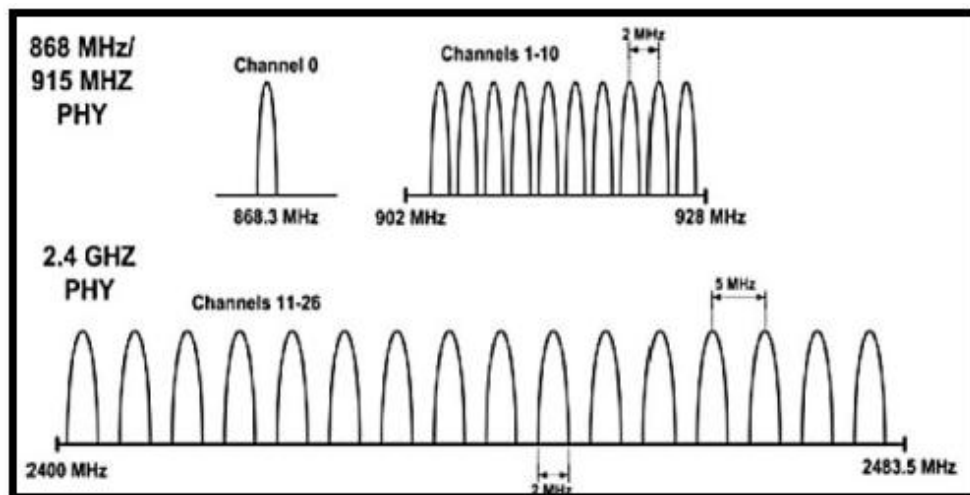


Figura 9. Estructura de Canales definido por IEEE 802.15.4

Fuente: <http://wenku.baidu.com/view/a11a02ea19e8b8f67c1cb99b>

Entre las funciones de la capa Física con el medio están las siguientes:

- Estimación del canal
- Comunicación a nivel de bit

Además la capa física ofrece dos servicios a la subcapa MAC:

- *PHY Data Service*.- Mecanismo de envío de datos
- *PHY Management Services*.- Mecanismos para controlar la configuración y funcionalidad de las comunicaciones de radio.

5.1.4.2. MAC.

La subcapa MAC del protocolo IEEE 802.15.4 está encargada de proporcionar la interfaz entre la capa física y las capas superiores y despliega las siguientes características:

- Servicios para que dispositivos puedan asociarse o desasociarse
- Proporciona control de acceso

Las técnicas que utiliza el estándar para que no exista colisión de tramas y evite que todos los nodos quieran transmitir al mismo tiempo son:

- *CSMA-CA*: Para esta técnica cada nodo primero debe analizar cómo se encuentra la red antes de iniciar su transmisión, mientras tanto espera un tiempo al azar e intenta de nuevo realizar su transmisión.

- *GTS*: Esta es una garantía de tiempo, existe un coordinador el cual se encarga de ofrecer slots de tiempo para cada nodo pueda transmitir, de esta manera cada nodo sabe en qué momento debe iniciar su transmisión, este coordinador se lo conoce como PAN.

Para proporcionar un GTS, el coordinador PAN debe cerciorarse que todos los nodos se encuentren sincronizados, esto lo realiza enviando un beacon, que es un mensaje de formato específico que se usa para sincronizar el reloj de todos los nodos conectados a la red. En cambio al no usar mensajes de beacon, es el caso en el que se utiliza el mecanismo CSMA-CA, a estas redes se las denomina nonbeacon, no poseen un GTS y por lo tanto el tiempo de transmisión es libre para cada nodo (Mayné, 2011)

5.1.4.3. *ZigBee*

ZigBee está basado en el estándar IEEE 802.15.4 el cual se lo define con al objetivo de dar soluciones inalámbricas de corto alcance específicamente en hogares, pero al tener una gran acogida se lo ha llevado a diferentes áreas en las cuales se han desarrollado aplicaciones en la medicina, agricultura, entre las más relevantes.

Esta tecnología inalámbrica permite el envío de datos, por lo general información de sensores como también comandos para el control de actuadores, a través de redes malladas con multisalto, lo que permite cubrir áreas extensas con enlaces redundantes, todas estas características hacen que Zigbee sea una red robusta apta para la aplicación en entornos críticos. (Sistemas, 2014)

Los dispositivos basados en esta tecnología operan en bandas de frecuencias de 866 MHz, 915MHz y 2.4 GHz, aunque la banda más utilizada es la banda de 2.4GHz por lo siguiente:

- Uso sin licencia en todo el mundo
- Mayor tasa de transferencia de datos y mayor número de canales
- Menor consumo de potencia

5.1.4.3.1. Tipos de Dispositivos ZigBee

Se definen diferentes tipos de dispositivos, esto según el papel que desempeñan en la red, tomando en cuenta las definiciones según el estándar IEEE 802.15.4 y la Alianza Zigbee. Según el estándar IEEE 802.15.4 están:

- *Coordinador Zigbee (ZC)*. Es el dispositivo más completo de la red, debe existir uno por red ya que será el encargado de controlar la red y los caminos que deban seguir los dispositivos para lograr conectarse entre ellos.
- *Router Zigbee (ZR)*. Este dispositivo se encarga de interconectar dispositivos que se encuentren separados en la topología de red.
- *Dispositivo Final (ZED)*. Cumple con la funcionalidad de comunicarse con un dispositivo mayor, es decir, un router o un coordinador pero no puede comunicarse con otros dispositivos.

La clasificación de dispositivos según la Alianza de Zigbee está:

- *Dispositivos de funcionalidad completa (FFD)*. Se los conoce como nodos activos, tienen la capacidad de recibir mensajes según el formato 802.15.4 gracias a la memoria adicional y la capacidad de computar; se lo puede utilizar como router Zigbee o también en dispositivo de red para que trabaje como interfaz del usuarios.
- *Dispositivos de funcionalidad reducida (RFD)*. Se los conoce como nodos pasivos, tiene la capacidad limitada, en resumen son los sensores o actuadores que se encuentran en una red.

5.1.4.3.2. *Arquitectura Básica de Zigbee.*

Zigbee se encuentra basado en el estándar IEEE 802.15.4, esto involucra que su arquitectura básica está totalmente relacionada a la arquitectura del estándar antes mencionado.

La arquitectura del estándar IEEE 802.15.4 está definido por dos niveles: capa física y subcapa MAC, en cambio lo que define la Alianza de Zigbee es la capa aplicación, capa de red y la capa de seguridad del protocolo y esta adopta las capas definidas por IEEE 802.15.4, como se muestra en la Figura 10.

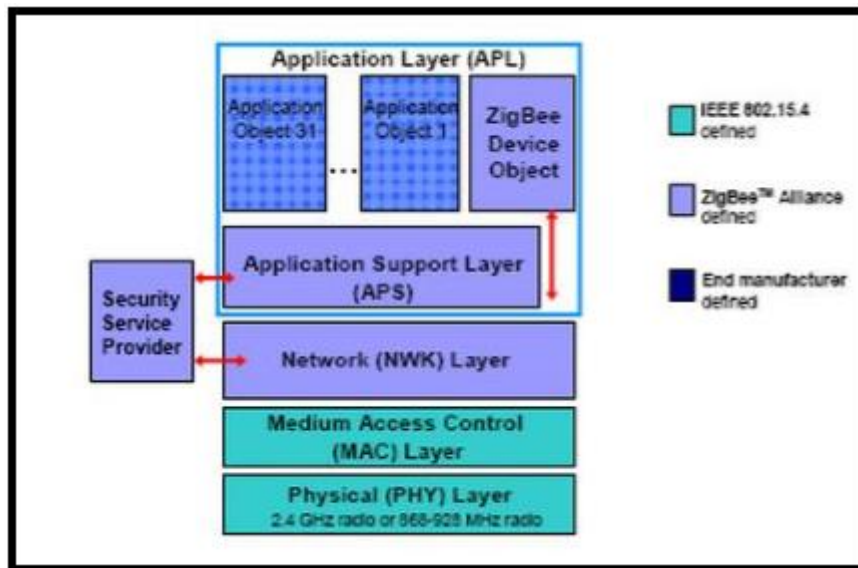


Figura 10. Protocolo de capas de redes inalámbricas Zigbee

Fuente: <http://wenku.baidu.com/view/a11a02ea19e8b8f67c1cb99b>

En resumen, como muestra la Figura 10, el stack de Zigbee consta de 3 capas fundamentales y principales las que son: Capa Física, Capa de Red, Capa Aplicación, en el cual dentro de la capa Física como son las subcapas PHY y MAC están definidas por el protocolo IEEE 802.15.4 que ya se mencionó anteriormente, y la capa de red y aplicación están definidas por la Alianza de Zigbee.

5.1.4.3.3. Capa de Red (Zigbee Alliance).

La Alianza de Zigbee fue la encargada de establecer y esta capa de red, con el objetivo de dar mayor funcionalidad y garantizar las capas que están definidas por el estándar 802.15.4 (PHY y MAC), y también para que de una interfaz de servicio a la capa aplicación. Una de las características principales y primordiales es la de proporcionar direccionamiento a la red, para esto existen dos tipos de direcciones, dirección corta y dirección larga.

- *Dirección Corta.*- Consta de 16 bits, es asignada de forma dinámica por la capa de red y solo debe existir un solo dispositivo con esta dirección.
- *Dirección Larga.*- Consta de 64 bits, es asignada por el fabricante en los dispositivos y cada dispositivo tiene una dirección larga única. (Gutierrez, 2015)

Entre las funcionalidades más importantes de la Capa de Red se pueden mencionar:

- *Descubrimiento de la Red.*

Este objetivo de la capa de red se basa en informar a las capas superiores acerca de las redes Zigbee que están operando dentro de la zona de cobertura de algún dispositivo; al generarse este descubrimiento, la capa de red solicita a la capa MAC que realice una revisión rápida a un grupo de canales y posteriormente indicar en que canales están las redes detectadas y permitan que otros dispositivos puedan unirse a estas redes.

- *Establecimiento de una Nueva Red.*

Para conseguir el establecimiento de una nueva red, se necesita que un dispositivo actúe o tenga la capacidad de trabajar como un coordinador en red Zigbee, estos dispositivos son los únicos que pueden formar una red. Para establecer una nueva red existe un procedimiento el cual va realizar el dispositivo coordinador que se detalla a continuación.

- Solicitarle a la capa MAC que realice la detección de energía del canal,

para un grupo o también para todos.

- Ya realizado la detección, se ordena de mayor a menor la calidad de los canales.
- Se eliminan los canales en donde exista un índice alto de interferencia.
- Se ejecuta un escaneo para cada uno de los canales restantes.
- Se elige el canal de menos interferencia y el que menos este utilizado por otras redes Zigbee.
- Al seleccionar el canal automáticamente se asigna un identificador de red menor al valor hexadecimal 0xFFFF.
- Se indica a la capa MAC el valor asignado anteriormente.
- El coordinador se auto asigna la dirección 0x0000.
- Se finaliza indicándole a la capa MAC que la red ha sido creada.

De igual manera como existe un proceso para el establecimiento de una nueva red, hay un proceso para unirse a una red:

- Se hace descubrimiento de red
- Al seleccionarse la red, se hace una lista identificando los posibles dispositivos principales sea un router o coordinador que este dentro de la zona de cobertura del dispositivo a unirse.
- Se debe tener en cuenta que el coordinador tiene más jerarquía que un router y en caso de que no exista un coordinador al alcance, se debería hacer una revisión de los routers y se escoge el que a menor distancia se encuentre al coordinador.
- El dispositivo que se va a unir a la red envía la dirección larga, que es la

dirección única al nodo coordinador o router.

- El nodo que recibe la dirección procede a almacenar la dirección larga y le asigna una dirección corta al nuevo nodo integrante de la red, permitiendo así la comunicación entre los dispositivos.

Los dispositivos que pueden permitir que nuevos nodos se puedan conectar a una red son un router o un coordinador que como se mencionó son los únicos que pueden crear redes.

En el caso de que un nodo desee abandonar la red, existen dos modos para que se realice esto: el primero es que el nodo coordinador decide que un dispositivo ya no pertenezca a la red y el segundo es que el dispositivo informe al nodo coordinador que ya no quiere formar parte de la red, para que esto funcione correctamente, el coordinador debe actualizar su tabla de vecindad y se pueda garantizar que el nodo que se lo excluyo ya no aparezca como un dispositivo perteneciente a la red. (Barneda Faudot, 2008)

5.1.4.3.4. Capa Aplicación

Dentro de la capa Aplicación que fue establecida por la Alianza de Zigbee se conforman tres fragmentos sumamente importantes, que son los siguientes: Marco del Aplicación (AF - Application Framework), Objeto de Dispositivo ZigBee (ZDO – Zigbee Device Object), y la Subcapa de Soporte de Aplicación (APS – Application Support Sub-Layer). (Barneda Faudot, 2008)

Marco de Aplicación.

Encargado de manejar las diferentes aplicaciones que opera un dispositivo, cada dispositivo soporta un total de 240 aplicaciones distintas, y cada aplicación consta de un punto de acceso diferente.

Objeto de Dispositivo ZigBee.

Entre los trabajos en donde el ZDO está a cargo son: Definir el rol que va cumplir un dispositivo en la red, iniciar y responder a las necesidades de las aplicaciones del dispositivo, constituir una relación segura entre los dispositivos de la red y detectar dispositivos en la red.

5.1.4.3.5. Sub-Capa de Soporte de Aplicación.

Proporciona un servicio de interfaz de servicios de datos tales como la transmisión y recepción de tramas entre la capa de red y la capa de aplicación. Tiene funciones como:

- Mejora la fiabilidad de la transmisión de datos a través del reintento de servicios.
- Genera el PDU de capa Aplicación
- Genera el cambio de mensajes al estar dos puntos de acceso de dispositivos relacionados
- Descarta mensajes que ya se dieron por recibidos.

5.1.4.3.6. *Seguridad en ZigBee.*

Los servicios de seguridad que se ofrecen para ZigBee incluyen: los métodos de establecimiento de claves, claves para el transporte, la protección del marco y la administración de los dispositivos, estos servicios son importantes para lograr implementar políticas de seguridad dentro de dispositivos Zigbee.

Como se explicó anteriormente y en resumen la capa física se encarga de establecer la comunicación de radio física, la capa MAC brinda servicios para que la comunicación sea fiable, la capa de red proporciona funciones de enrutamiento dentro de la red y los elementos con los que se puede generar las diferentes topologías de red que pueda soportar la tecnología y finalmente en la capa de aplicación, el APS proporciona una base para el servicio del ZDO y del Marco de Aplicaciones de Zigbee.

Para la seguridad en ZigBee, la arquitectura incluye mecanismos en tres capas de la pila: la capa de aplicación, la capa de red y la capa MAC.

Seguridad en Capa MAC.

Específicamente una de las prioridades de dar seguridad en ZigBee, es proteger los marcos de entrada y de salida, esto lo hace utilizando niveles de seguridad donde ofrecen servicios de solo integridad y solo cifrado.

Seguridad en Capa de Red.

Una de las responsabilidades primordiales de la capa de red, es de proporcionar la capacidad de enrutamiento de los mensajes mediante enlaces multi-saltos. Las solicitudes de mensajes de ruta y redirección de mensajes de respuesta se envían simultáneamente a los dispositivos cercanos; si la clave de enlace correspondiente no está disponible, la capa de red activa todas las claves de red para proteger los marcos de red entrante y saliente con el fin de defenderse de mensajes de intrusos.

Seguridad en Capa de Aplicación.

Cuando se genere una trama en la capa aplicación, la encargada de la seguridad será la subcapa APS, la cual proporciona seguridad de imágenes basándose en las claves de red. Otra responsabilidad de esta capa es la de brindar la clave para el transporte, establecimiento de ZDO con claves. Zigbee en la seguridad que proporciona usa tres tipos de claves:

- *Claves de red.*- Esta clave se la utiliza a nivel de capa de red, todos los dispositivos miembros de una misma red, tienen que tener una misma clave.
- *Claves de Enlace.*- Este tipo de clave es de suma importancia cuando se realiza enlaces punto a punto, solo tendrán conectividad los que posean la misma clave.
- *Clave Maestra.*- Esta clave es utilizada por los dispositivos para el inicio de la comunicación para generar la clave de enlace. Esta clave no se utiliza para encriptar ni cifrar tramas. (Glen & Moreno, 2012)

5.1.4.3.7. *Funcionamiento de Módulos Zigbee*

Para el funcionamiento de los diferentes Módulos ZigBee existen tres diferentes formas de configuración: Modo Transparente, Modo Comandos (Comandos AT) y Modo API. (Barneda Faudot, 2008).

- *Modo Transparente.*

Es el modo más sencillo de configuración de estos módulos, ya que es equivalente a un enlace serie virtual entre dos módulos ZigBee.

- *Modo Comandos.*

Es la forma en la que se puede configurar los módulos mediante el puerto serial de una computadora. La configuración se la realiza mediante comandos AT, todos estos comandos van precedidos de las letras AT.

En el caso de Xbee, para la configuración de estos módulos existe un software X-CTU del fabricante Digi que permite la configuración con una interfaz gráfica de una manera fácil y rápida. Mediante comandos AT y con la ayuda del software se puede configurar los módulos de acuerdo a la necesidad de la red.

- *Modo API.*

Este modo es más complejo que el anterior a nivel de programación, debido a que

se da mayor utilidad al módulo y permite realizar opciones que no se pueden fácilmente mediante comando AT. Provee de mayor flexibilidad al momento del envío y de la recepción de datos en una comunicación ZigBee.

La diferencia del modo API con respecto al modo Transparente, radica en que el modo API hace que el modulo espere una cierta cantidad de bytes en secuencia que le indican que tipo de operación va a realizar, a cada una de estas secuencias se les conoce con el nombre de frame o también comúnmente llamado paquete.

Este paquete, como se muestra en la Figura 11, se encuentra formado de la siguiente estructura.

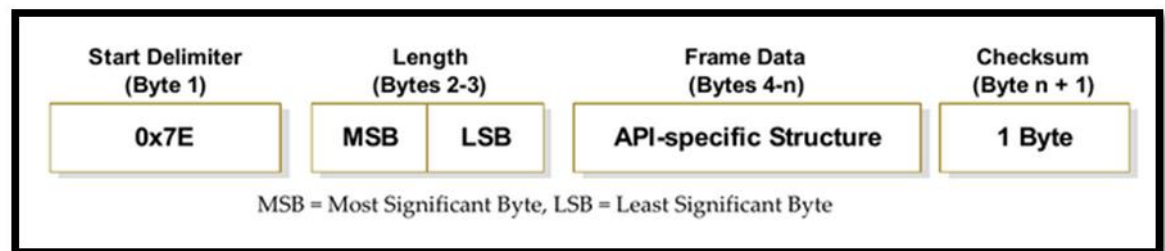


Figura 11. Estructura de trama API

Fuente: <https://hangar.org/webnou/wp-content/uploads/2012/01/Capsulab081.pdf>

Donde cada parte de la estructura corresponde a:

- *Byte 1.-* Es el encabezado que siempre contará con el valor 0x7E, esto indica que el módulo está por comenzar un envío de paquete.
- *Byte 2-3.-* Esta sección indica el tamaño del paquete.
- *Byte 4-n.-* Contiene la estructura específica de la API, dentro de esta

están los contenidos de donde dependerá la función API que se llame.

- La suma de verificación de todos los bytes contenidos en el paquete.

5.1.4.3.8. Módulos de transmisión inalámbrica Xbee.

Los módulos Xbee proveen dos formas de comunicación, modo AT y modo API, las mismas que fueron detalladas anteriormente. Estos módulos pueden ser configurados desde una PC y trabajar en redes punto a punto, redes mesh, punto a multipunto. El criterio de elección del módulo Xbee adecuado viene a darse por el tipo de antena y la potencia de transmisión del mismo.

A continuación, en la Tabla 1, se muestra una comparación con los diferentes tipos de módulos Xbee con las características que permitan elegir el más idóneo para el proyecto.

Tabla 1. Comparación entre módulos Xbee

Módulo	Máxima Tasa de transmisión	Tipo de Antena	Potencia de Transmisión	Alcance	Frecuencia de trabajo
Xbee Serie 1 Antena Chip	115 kbps	Chip	1mW (+0 dBm)	300 ft. (100m)	2.4 GHz
Xbee Serie 1 Antena Wire	250 kbps	Wire	1mW (+0 dBm)	300 ft. (100m)	2.4 GHz
Xbee Serie 2 Antena Chip	250 kbps	Chip	2mW (+3 dBm)	400 ft. (120m)	2.4 GHz
Xbee Serie 2 Antena Wire	250 kbps	Wire	2mW (+3 dBm)	400 ft. (120m)	2.4 GHz

Xbee PRO Serie 1	250 kbps	Wire/Chip	60mW (+18dBm)	1 milla (1600m)	2.4 GHz
Xbee PRO Serie 2	250 kbps	Wire/Chip	50mW (+17dBm)	1 milla (1600m)	2.4 GHz

Fuente: <http://www.xbee.cl/> Elaborada por el Autor.

5.1.4.4. Integración entre WSN y Redes TCP/IP.

Las WSN poseen recursos limitados como lo es en hardware y en el consumo de energía, hace que la conexión directa de los nodos sensores con redes TCP/IP no sea factible. De la integración entre WSN y redes TCP/IP, surgen dos niveles a tener en cuenta como lo son: Arquitectura y Protocolos de Interconexión. (Iacono, Godoy, Marianetti, Garcia, & Párraga, 2012)

En la Figura 12, se observa un diagrama de bloques de la integración de la WSN y una red TCP/IP.

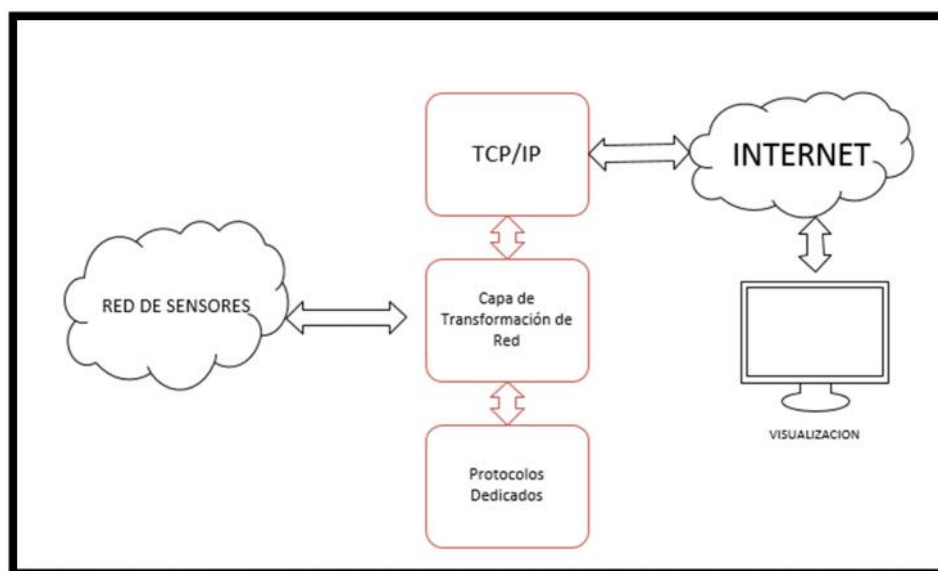


Figura 12. Integración ente una red WSN y una red TCP/IP

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.1.4.4.1. Nivel de Arquitectura

En este nivel toma principalmente en cuenta cual será el elemento que tendrá la dirección IP, la cual permita la conexión entre ambas redes, y en este nivel existen dos perspectivas: redes overlay, Gateway.

5.1.4.4.2. Solución mediante Gateway.

Este enfoque se basa en que ningún nodo sensor posea dirección IP y que únicamente el nodo central o estación base será el que tenga una dirección IP, este actúa con Gateway, como por ejemplo entre TCP/IP y Zigbee.

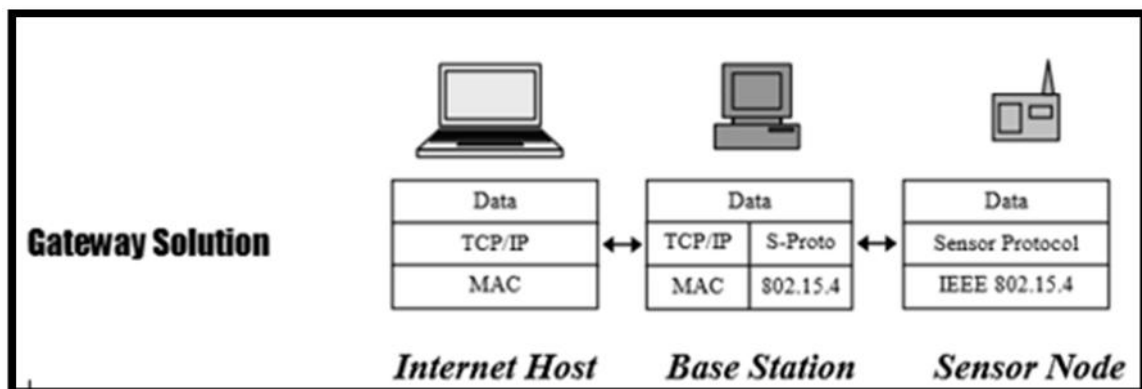


Figura 13. Solución de Gateway

Fuente: <https://www.nics.uma.es/sites/default/files/papers/roman2009a.pdf>

La estación base o Gateway, como muestra la Figura 13, sirve como interfaz entre la red de adquisición de datos (red de sensores inalámbricos) y la red de difusión de datos (Internet). La estación base recoge y almacena toda la información procedente de la red de sensores, y también envía cualquier información de control a los nodos de sensores. No hay una conexión directa entre Internet y un nodo sensor: toda la

información entrante y saliente será analizado por la estación base o el Gateway.

5.1.4.4.3. Solución mediante Redes Overlay.

Permite integrar redes con distintos protocolos mediante el solapamiento de uno de los protocolos sobre el otro. Para el caso de la integración de WSN y TCP/IP, se le denomina TCP/IP “overlay” Sensor Networks, debido a que se embebe toda la pila de TCP/IP en los nodos sensores. (Iacono, Godoy, Marianetti, Garcia, & Párraga, 2012) (pág. 59)

En resumen los nodos sensores se comunican usando el protocolo TCP/IP, y la funcionalidad de la estación base es la de un router, la transmisión de paquetes desde y hacia los nodos sensores.

5.1.4.4.4. Nivel de Protocolos de Interconexión

El protocolo de interconexión es la implementación que permite el intercambio de mensajes y comandos entre ambas redes, definiendo reglas y sintaxis para lograr la interconexión entre estas redes. El protocolo además asiste a la aplicación para interactuar con la complejidad y heterogeneidad de las plataformas de hardware de ambas redes (WSN y TCP/IP). Los enfoques utilizados en este nivel, se pueden clasificar en Ad-hoc y Basados en estándares (Iacono, Godoy, Marianetti, Garcia, & Párraga, 2012)(pág. 60).

5.1.4.4.5. Basados en Estándares.

Los protocolos basan la gestión de datos y comandos de las WSN en estándares como: Servicios Web, Lenguajes de descripción, Estándares de sensores como IEEE 1451; estos lenguajes y estándares permiten estandarizar los datos desde el instante en el cual son obtenidos por el nodo fuente.

5.1.4.4.6. Protocolos de Interconexión AD-HOC.

Para el caso el protocolo de interconexión es diseñado específicamente para cada propuesta. Las características de los diferentes protocolos varían de acuerdo a la aplicación en particular que se la dé, y teniendo como ventaja principal el adecuarse específicamente a la aplicación; pero como principal desventaja es que presenta dificultades al momento de permitir la comunicación y la interoperabilidad entre distintos sistemas, esto se debe a que no están basados en estándares. (Iacono, Godoy, Marianetti, Garcia, & Párraga, 2012)

5.1.5. Hardware Open Source.

“Hardware de Fuentes Abiertas es aquel hardware cuyo diseño se hace disponible públicamente para que cualquier persona lo pueda estudiar, modificar, distribuir, materializar y vender, tanto el original como otros objetos basados en ese diseño. El hardware da libertad de controlar la tecnología y al mismo tiempo compartir conocimientos y estimular la comercialización por medio del intercambio abierto de diseños” Open Source Hardware Association (OSHW, 2014)

El hardware de código abierto en los últimos años ha permitido abrir las puertas a muchos desarrolladores, es así que con el pasar del tiempo ha ido aumentando su uso considerablemente y que hoy en día existen una variedad de marcas y modelos, que el usuario o desarrollador puede elegir para la elaboración de proyectos innovadores.

5.1.5.1. Plataformas de Open Source

Al hablar sobre plataformas libres o de código abierto, se pueden nombrar un sin número de las ya existentes en el medio, su masificación ha llevado a que estas se especialicen y varias de estas plataformas tengan modelos orientados al uso, necesidad, tecnología.

Entre las plataformas libres del mercado, la más conocida y utilizada en el medio es Arduino, que posee una amplia gama de placas de acuerdo al uso que se lo requiera, con las funcionalidades adecuadas según las necesidades con la característica adicional que el precio es bastante accesible.

5.1.5.2. Arduino

Arduino, es una plataforma de hardware de código abierto, basada en una sencilla placa con entradas y salidas, analógicas y digitales, en un entorno de desarrollo que está basado en el lenguaje de programación Processing.

Las placas Arduino son pequeños ordenadores con los que se puede leer

información de diferentes sensores, así como controlar luces, motores y muchas otras cosas. La gran mayoría de los sistemas que rodean un ambiente de trabajo son ordenadores de diferentes tamaños. Los ordenadores no necesitan tener teclado ni pantalla.

Es un dispositivo que conecta el mundo físico con el mundo virtual, o el mundo analógico con el digital. (ARDUINO)s.f.

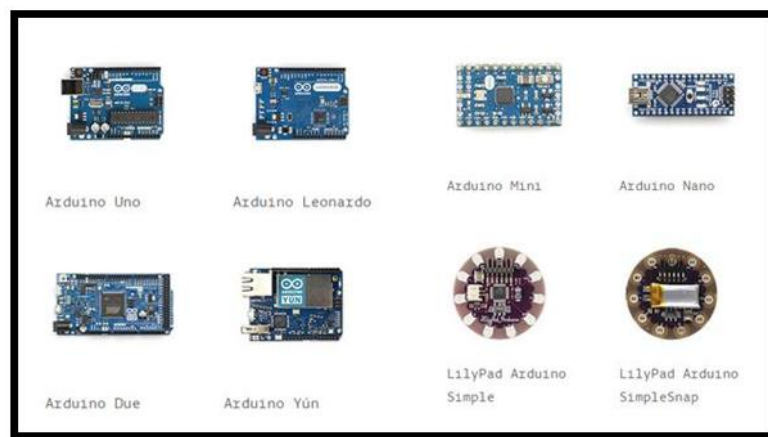


Figura 14. Ejemplos de placas Arduino

Fuente: Arduino. <https://www.arduino.cc>

Existen un gran número de placas de Arduino, en la que se diferencian por el procesador a utilizar, número de pines, entradas análogas, salidas digitales, tamaño, etc. Como muestra la Figura 14, entre las placas más comunes en el mercado están por ejemplo: Arduino UNO MEGA, YUN, LILYPAD, LEONARDO, NANO.

De igual manera en la Tabla 2, se realiza una comparación de las diferentes placas Arduino para realizar la elección de la más adecuada según la aplicación que se vaya a realizar.

Tabla 2. Comparación de Placas Arduino

	Voltaje de operación	Voltaje de alimentación	I/O pines - PWM	Características Especiales
Arduino Uno	5V	7V – 12V	14 - 6	Conector USB, adaptador para fuente Externa
Arduino Leonardo	5V	7V – 12V	20 - 7	Conector mini-USB simulado, puerto serial libre hardware libre para la programación.
Arduino Mega	5V	7V – 12V	54 - 15	Empleado para proyectos donde se necesite un mayor número de pines
Arduino YUN	5V	5V	20 – 7	Posee un chip Atheros, el cual controla USB, SD, Ethernet, WiFi. Placa nativa para tener conexión a redes.
Arduino BT	5V	2.5V – 12V	14 - 6	Provee comunicación Bluetooth con computadores, teléfonos, y otros dispositivos a excepción de audífonos o manos libres.
Arduino Lilypad	2.7V – 5.5V	2.7V – 5.5V	9 - 4	Puede ser cosida a la tela y montado de manera similar fuentes de alimentación, sensores y actuadores con hilo conductor
Arduino PRO Mini	5V	3.35V – 12V	14 - 6	El Arduino Pro Mini está diseñado para la instalación semi- permanente en objetos o exposiciones
Arduino FIO	3.3V	3.3V – 12V	14 - 6	Conector para baterías LiPo, socket Zigbee, diseñado para aplicaciones inalámbricas, incluye cargador de batería, tamaño reducido.
Arduino Nano	5V	7V – 12V	14 - 6	Tamaño menor al FIO, permite realizar prototipos sobre protoboard.

Fuente: <https://www.arduino.cc> Elaborado por el Autor.

5.1.6. Nube.

El termino nube (en inglés Cloud) hace referencia a una metáfora empleada para referirse a un sistema de computación a través de Internet.

La computación en la nube (Cloud Computing) aparece en el año 2006 a manos de proveedores de internet (ISP) como Google, Amazon, Microsoft y otros más, quienes habrían conseguido construir un sistema de recursos distribuidos de manera horizontal, introducidos como servicios virtuales escalados masivamente y manejados como recursos configurados y mancomunados de manera continua. El procesamiento en la nube ha reemplazado a los mainframes y la arquitectura cliente-servidor, ya que en esta nueva arquitectura los datos residen en servidores localizados en algún sitio de la Internet.

Al hablar de la nube no referimos directamente al Cloud Computing (computación en la nube), la nube se basa en un espacio virtual que puede concentrar potentes arquitecturas y brindar recursos como como almacenamiento, memoria, procesamiento, aplicaciones y servicios.

Las características clave de Cloud Computing son:

- *Autoservicio bajo demanda:* se puede requerir más servicio (capacidad de almacenamiento, procesamiento, etc.) de forma automática sin intervención humana.
- *Accesible a través de la Web:* los servicios se prestan a través de protocolos estándares Web.
- *Compartición de recursos:* la infraestructura de computación del proveedor se combina para dar servicio a múltiples usuarios a la vez.

- *Rapidez de escalado*: la disponibilidad de los recursos TIC¹⁹ se puede aumentar o disminuir de forma automática en función de las necesidades.
- *Medición y monitorización*: la utilización de los recursos de las tecnologías de la información se pueden monitorizar, medir y asignar a cada usuario o unidad de negocio.

5.1.6.1. Tipos de Nube.

Existen diversos tipos de nube dependiendo de las necesidades de servicio e implementación de cada usuario de (Antonio Linan Colina, 2015) describe que, las opciones de despliegue de la infraestructura de Cloud Computing son:

- *Cloud público*: compartida por los consumidores privados y empresas. El proveedor comercializa ciertos servicios sobre la misma
- *Cloud privado*: a disposición de una sola empresa, gestionada por ella o por el proveedor en las instalaciones de la empresa (onpremise) o en las del proveedor (offpremise)
- *Cloud comunitario*: compartida por varias organizaciones que trabajan en un objetivo en común. Puede ser onpremise u offpremise
- *Cloud híbrido*: combinación de dos o más de las opciones anteriores a través de tecnologías propietarias o estándar que permiten la portabilidad de datos. (p.25)

¹⁹ TIC: tecnologías de la información y la comunicación.

Las nubes públicas son el modelo estándar de computación en la nube, dado que los servicios que brindan se alojan en servidores externos.

5.1.6.2. Modelos De Servicio

Los tipos de servicios que ofrece la computación en la nube según (Antonio Linan Colina, 2015) son los siguientes:

- *Software como servicio (SaaS)*: consiste en el suministro de aplicaciones como e-mail, CRM²⁰, gestión de nóminas que se ofrece en una red y que no precisa que los usuarios lo instalen en sus propios ordenadores. Por tanto, se utiliza una arquitectura web accesible desde cualquier dispositivo y el usuario no tiene ningún control sobre la infraestructura subyacente
- *Infraestructura como servicio (IaaS)*: se refiere a la disponibilidad de capacidad de almacenamiento, procesamiento y de red que se factura según el consumo. De esta manera este servicio ofrece una provisión escalable de recursos de computación (procesamiento, almacenamiento, comunicaciones...) según un modelo elástico, es decir, con aumento o disminución de recursos de forma flexible
- *Plataforma como servicio (PaaS)*: consiste en ofrecer a los clientes un entorno de desarrollo con servicios y herramientas para que estos puedan crear sus propias aplicaciones. Dicho de otra forma, ofrecen una arquitectura sobre la que los desarrolladores puedan desplegar sus aplicaciones con lenguajes de programación y herramientas soportadas por el proveedor. (p. 16)

²⁰ CRM: Customer relationship management.

En el mundo existen miles de organismos que ofrecen servicios y recursos en la nube, siendo SaaS el nivel de servicio más alto, y familiar para los usuarios del Cloud por ofrecer como servicio directamente aplicaciones, siendo un ejemplo el caso de Salesfroce.com.

PaaS es el nivel intermedio, donde se ofrecen entornos de desarrollo y ejecución para aplicaciones basadas en internet, sin tener que descargar software alguno, ejemplos de este tipo de servicio son: Google App Engine, Xively y UBIDOTS.

IaaS es el nivel inferior de los servicios, siendo el corazón del Cloud por sus técnicas de virtualización que permite capacidades de computación y almacenamiento, en este nivel es donde se alojan físicamente los servidores, dispositivos de redes, discos y más infraestructura necesaria para brindar recursos a terceros; ejemplo de ello es Amazon Web Services (EC2 y S3) o Joyent.

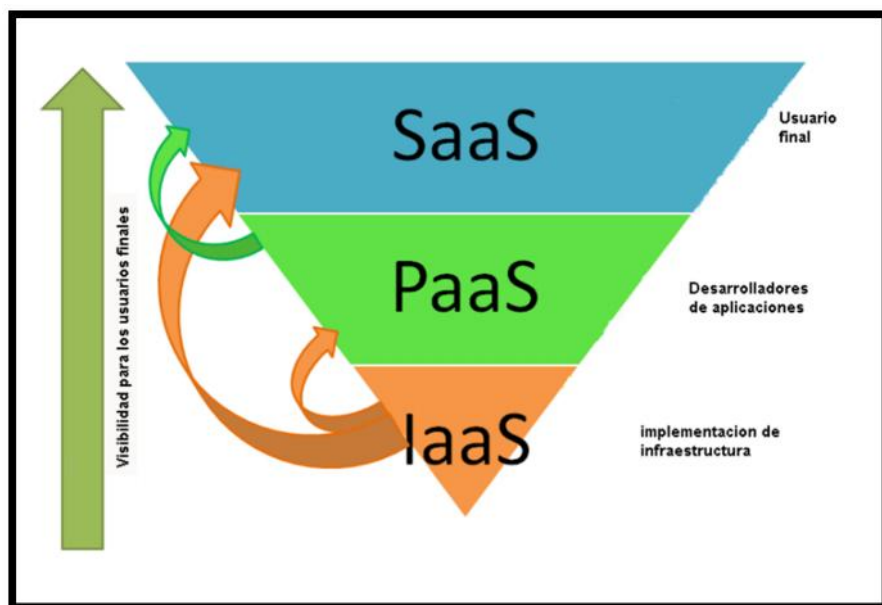


Figura 15. Modelos de la nube

Fuente: https://gabosnake.files.wordpress.com/2015/06/cloud_01.png

5.1.7. Teoría del Fuego.

El fuego se puede definir como una reacción química continua con generación de luz y calor, en que se combinan agentes reductores (combustibles) con agentes oxidantes (comburentes) en presencia de calor.

Para que se produzca la combustión todos ellos deben presentarse simultáneamente y estar en las cantidades adecuadas. En la Figura 16 se puede ver el triángulo y el tetraedro del fuego.



Figura 16. Izquierda: Triángulo del fuego. Derecho: Tetraedro del fuego

Fuente:

<https://image.jimcdn.com/app/cms/image/transf/dimension=250x1024:format=png/path/sa93b837186f9691f/image/idec47cd39937c211/version/1425245203/image.png>

La combustión con llama es producida por la generación de gases obtenidos tras la oxidación de combustibles sólidos y/o líquidos. Por otro lado, en la combustión sin llama, la reacción en cadena está inhibida (ya sea de forma natural o por la aplicación de algún medio de extinción), lo que da origen al fuego incandescente.

Como ya se mencionó, los componentes básicos del fuego son el combustible, el comburente y la energía de activación. El combustible es la sustancia que se quema (que se oxida), que es susceptible a arder. Por su lado, el comburente corresponde al elemento que oxida rápidamente al combustible, que generalmente es el oxígeno presente en la atmósfera. La energía de activación, en tanto, suele ser el calor (Sandoval, 2014).

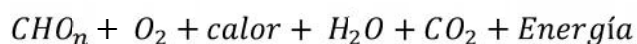
5.1.7.1. *Concepto de incendio forestal*

Según la Secretaria Nacional de Gestión de Riesgos, un incendio forestal se define como al fuego que se propaga sin control, especialmente en zonas rurales, afectando la vegetación como árboles, matorrales, pastos y cultivos (SNGR, 2016). Cuando se percibe el inicio de un incendio forestal, por medio de un sistema de prevención temprana se enviará la información a la administración de los organismos de socorro para que ellos dispongan de su contingente y concurran al sitio afectado.

Resulta importante señalar que casi la totalidad de estos fenómenos ocurren a causa de la directa acción humana, ya sea por descuidos o negligencias en el uso del fuego cerca de lugares con vegetación combustible, por prácticas agrícolas, por una escasa cultura ambiental, o bien por diversas motivaciones, incluso la de cometer delitos.

Como se mencionó anteriormente, en general, los materiales inflamables arden en presencia de oxígeno y de una fuente calor. En los incendios forestales el combustible que tiene capacidad de inflamarse es la vegetación. Dicha vegetación está

compuesta básicamente por celulosa, hemicelulosa y lignina, compuestos orgánicos formados por cadenas de Carbono (C) con Oxígeno (O) e Hidrógeno (H), también llamados polímeros. La combustión con llama de esta vegetación se puede expresar químicamente mediante la Ecuación 1.



Ecuación 1. Elementos para la Combustión

Si bien la Ecuación 1 es una simplificación tanto de la formulación orgánica de los polímeros como de la reacción en sí, sirve para poner de manifiesto los elementos fundamentales que rigen la termoquímica aplicada a los materiales vegetales, el ya mencionado triángulo del fuego (Ver Figura 16), ya que hacen falta estos tres elementos para generar la combustión con llama.

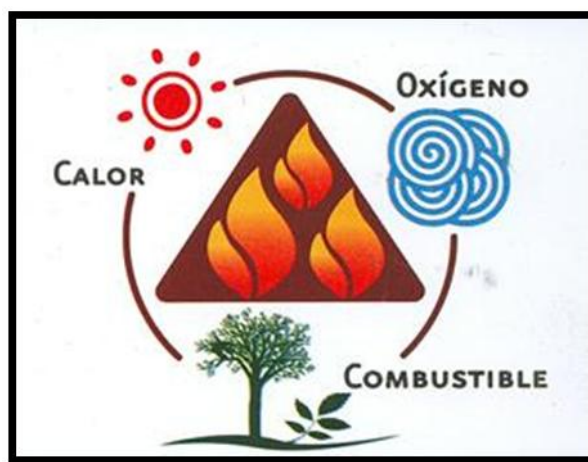


Figura 17. Triángulo del fuego para el caso forestal

<http://fuegolab.blogspot.com.es/2013/03/oxigeno-calor-vegetacionyfuego-de.html>

Se sabe que el combustible forestal posee grandes cantidades de agua que se evapora y se une a la mezcla de gases durante el proceso. También poseen pequeñas cantidades de aceites esenciales que se evaporan muy fácilmente al aparecer la fuente

de calor y que, sin embargo, su baja temperatura de inflamación suele ser responsable, en realidad, de generar la ignición. En las fases previas del incendio, la combustión es incompleta y por tanto se genera monóxido de carbono (CO) en lugar de dióxido de carbono. Incluso en la fase de llama no todo el vegetal se quema simultáneamente con lo que aunque el gas predominante sea el CO₂, en realidad siempre existe emisión de CO (FuegoLab, 2015).

Ya se han explicado los conceptos básicos que envuelven a la problemática que rodea a este caso de estudio. Ahora, es momento de indicar los sistemas y dispositivos que se ofrecen actualmente en el mercado tecnológico.

El objetivo es diseñar un sistema de alerta temprana ante la presencia de incendios forestales, por lo que en esta sección se revisan algunos métodos que utilizan la electrónica para atacar la problemática. En otros países, ya se han diseñado e implementado este tipo de elementos, por lo que a continuación se muestran algunos de ellos.

5.1.7.2. Ejemplos de Sistemas de Alerta de Incendios Forestales en producción a Nivel Mundial.

A continuación se va a mostrar las características más importantes de tres sistemas ya en producción a nivel internacional que permiten visualizar tanto la tendencia así como las ventajas y desventajas de cada uno de ellos para mejorar la propuesta del diseño.

5.1.7.2.1. *FireWatch*

La empresa IQ wireless ha creado FireWatch (FW), un sistema terrestre, digital, de vigilancia remota capaz de observar áreas forestales amplias, pudiendo analizar y almacenar los datos recogidos, ver en la Figura #. FW es capaz de evaluar y clasificar los datos entrantes de múltiples maneras, conectado a una estación central. En el caso de la detección de un foco de incendio, el sistema envía automáticamente una alarma.

Según el fabricante, FW fue probado satisfactoriamente y está instalado desde hace años en Alemania, los estados de Brandenburg, Mecklenburg-Western Pomerania, Saxony-Anhalt and Saxony [10].

El sistema consiste en cámaras instaladas sobre torres al interior del bosque, las que toman imágenes cada 6 minutos (ver Figura 18). Luego de procesar la imagen (zoom, filtros, contraste), si las cámaras detectan la presencia de una columna de humo, envían la imagen al computador situado en estación de control y dan una señal de alarma indicando la ubicación del evento. Las cámaras se comunican vía radio (transmisión de banda ancha CDMA) o por teléfono (ISDN) y poseen una resolución de 1280x1024 pixeles (ver figura 12). Además, pueden detectar una nube de humo; a la luz del día, con un tamaño mínimo de 10x10 metros, a una distancia de 50 kilómetros; en menos de 8 minutos. Por la noche, las cámaras también funcionan y les puede tomar hasta 16 minutos detectar el humo.

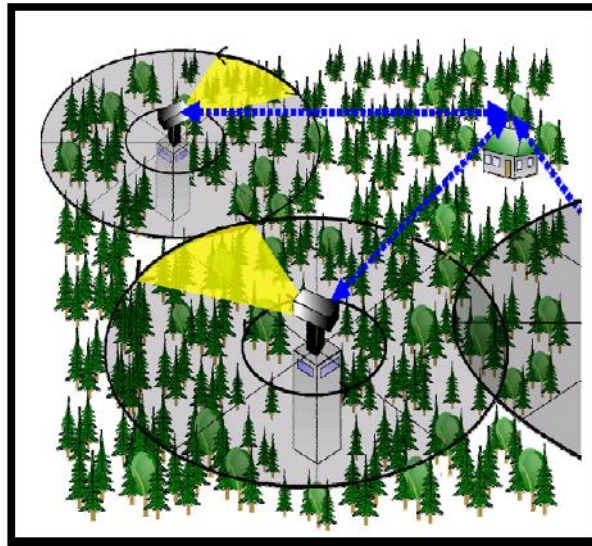


Figura 18. Ilustración de la Red del sistema Fire Watch

Fuente: FireWatch Obtenido de: <http://www.fire-watch.de/system-overview>

Las desventajas de este sistema son que sigue siendo un sistema visual, al igual que las torres con guardabosques para la detección terrestre fija; además, requieren un operador que esté revisando constantemente. En general, no presentan mucha diferencia con los sistemas de detección convencionales.

5.1.7.2.2. *Integra Wild Fire*

La empresa Integra, está desarrollando un producto para la detección de incendios, el cual se basa en el funcionamiento del ojo humano. El dispositivo consta de un emisor de luz infrarroja modulada apuntado hacia la línea del horizonte, el cual al impactar un objeto de tamaño similar a su longitud de onda (como una partícula de humo) se dispersa en todas direcciones. Parte de la luz dispersada llega a un detector, que es un sistema óptico en cuyo foco se coloca un sensor electrónico. Además, el sistema tiene una cámara que, después de que el sistema ha realizado una doble verificación, toma imágenes (fotos o un video corto).

Entre otras características del sistema se pueden mencionar que la fuente alimentación del sistema se sitúa debajo de la estructura, además se dispone de un panel solar con regulador electrónico y baterías. Por otro lado, cada unidad cubre más de 2800 hectáreas y puede realizar un barrido de 360 grados en menos de 3 minutos.

Otro aspecto a mencionar es que Integra Wild Fire cuenta con un software de detección que analiza las señales que indican la detección de luz dispersada por el humo o la masa de partículas.

A través del software también se pueden controlar remotamente los movimientos de los dispositivos de campo y las características del haz de luz infrarrojo que emana desde el emisor.

Toda la información será enviada a un centro de control donde será un operador será quien, finalmente, decida si se trata de un incendio, una nube contaminante o una falsa alarma, el proceso de trabajo del sistema @wf® está indicado en la Figura 19.

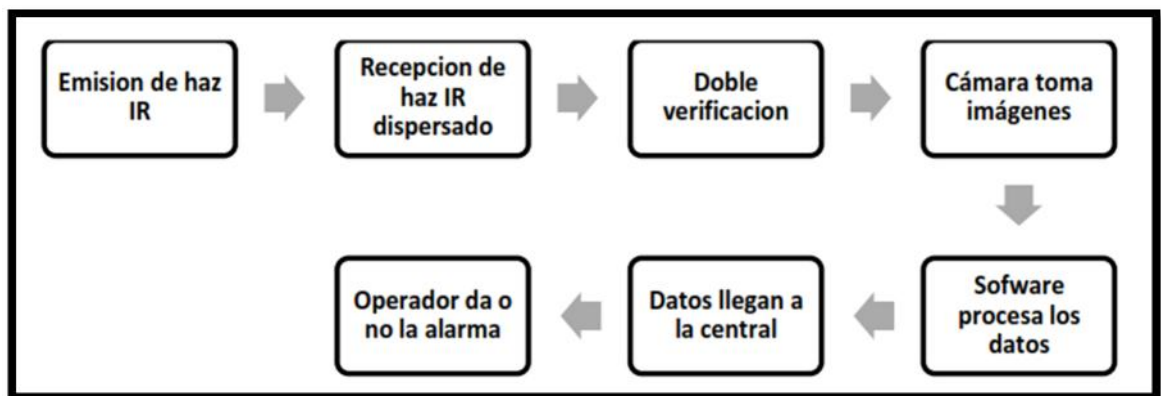


Figura 19. Diagrama de bloques de funcionamiento del sistema Integra Wild Fire @wf

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.1.7.2.3. *Fire and Smoke NASA: sistemas utilizando imágenes satelitales.*

Los incendios forestales podrán ser localizados gracias al nuevo proyecto desarrollado por la NASA. El sistema de alerta denominado Fire and Smoke consistente en una red de sensores espaciales para la localización temprana de incendios forestales. Este proyecto consiste en una constelación de 200 sensores ubicados en satélites capaces de localizar incendios forestales en todo el mundo.

El gran problema que presenta este sistema son las nubes, puesto que en el estudio se señala que pueden causar falsas alarmas, o bien, situarse sobre el incendio impidiendo que el satélite lo pueda detectar. La Figura 20 ilustra mejor esta situación.

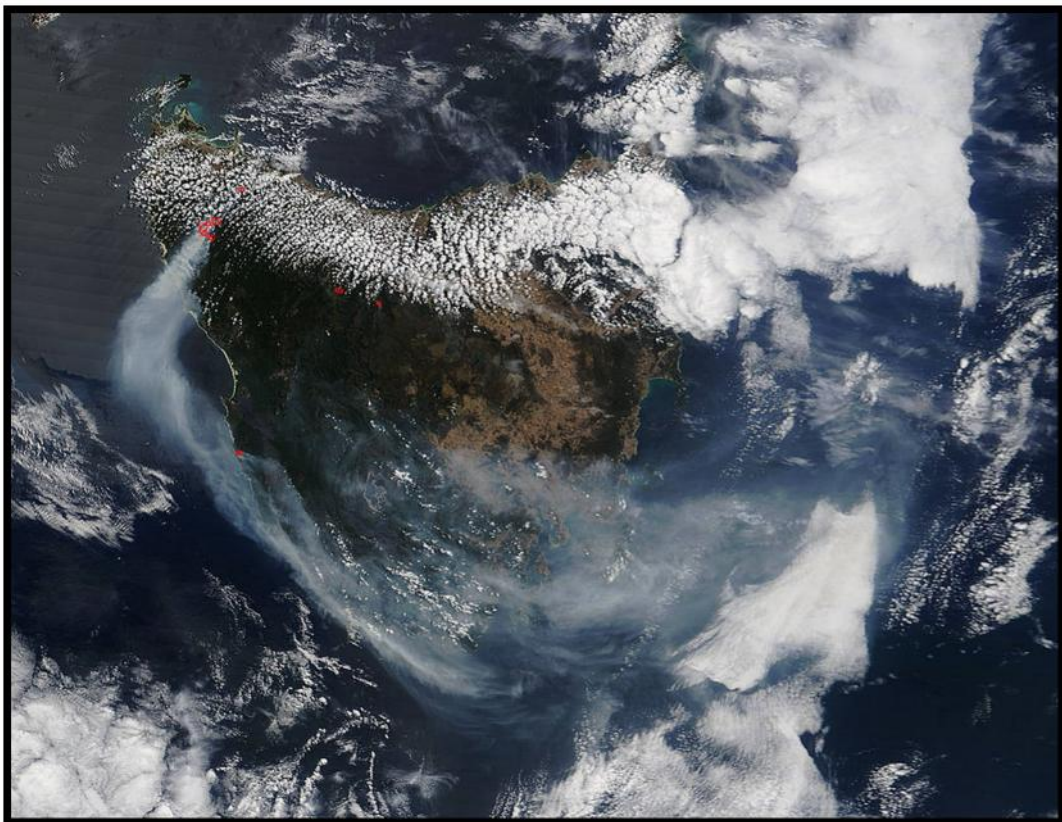


Figura 20. Imagen tomada por el Sistema Fire and Smoke de la NASA sobre Tanzania

Fuente: Fire and Smoke NASA. Obtenida de:

http://www.nasa.gov/mission_pages/fires/main/usa/index.html?id=370023

Con esta información se concluye que los sistemas de detección de incendios forestales que se encuentran en producción cuentan con múltiples herramientas que los hacen robustos para lo que fueron diseñados, pero que a su vez tienen algunas limitaciones que pueden ser completadas con una WSN que cuente con sensores de parámetros propios del fenómeno del fuego.

5.2. Diseño del Sistema de Alerta Temprana de Incendios Forestales.

En este apartado se describe el diseño de la red WSN y el sistema de monitoreo, tomando en cuenta las variables posibles que existan, se elige como lugar de prueba el Bosque Protector Guayabillas de la Ciudad de Ibarra debido a la alta influencia de incendios forestales en el sector, luego se procede a la construcción de hardware y manejo de la plataforma en la nube que se necesitará para el monitoreo del sistema.

5.2.1. Parámetros de Diseño del Sistema.

Para iniciar el diseño del sistema de alerta temprana, hay que realizar el diseño de la red WSN, para proceder, se debe considerar algunos factores como:

- Tolerancia a Fallos.- Habilidad para mantener a la red de sensores operativa
- Escalabilidad.- Mide la densidad de sensores que puede cubrir por área.
- Limitaciones del Hardware.- Procesamiento de la información.
- Topología de la red de sensores.- Elegir la adecuada según la aplicación.
- Medio de Transmisión.- Por facilidad de operación el medio de transmisión es inalámbrico.

- Consumo de energía.- Existe un máximo consumo de energía en la comunicación (Tx y Rx).

5.2.1.1. Ubicación sugerida de Monitoreo.

De acuerdo a la información del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, en su página web (GADIbarra, 2016), la Loma de Guayabillas se ubica en la zona Sur Oriental de la ciudad de Ibarra, en un área aproximada de 54 hectáreas, limita al norte con la ciudadela La Victoria y la loma del Mirador, al Sur con el sector de Lulunqui y las Malvinas al Oriente con las lomas de Yuracruz, y al Occidente con el río Tahuando y ciudadela La Victoria , tal y como se muestra en la Figura 21.



Figura 21. Izquierda: Loma de Guayabillas Ibarra

Fuente: El Comercio Obtenida de:

http://www.elcomercio.com/files/article_main/uploads/2014/08/26/53fcfa53a1f89.jpg

5.2.1.1.1. Extensión

Este bosque cuenta con un área aproximada de 54 has.

5.2.1.1.2. Densidad

No existen en donde se haya definido el número de individuos por hectárea. Cabe anotar que el bosque se encuentra en un proceso de eliminación de los eucaliptos los mismos que están siendo reemplazados por especies nativas como el cholán y especialmente la guayabilla especie propia de este sitio.

5.2.1.1.3. Estructura

Este bosque es principalmente un bosque plantado en donde prevalece el eucalipto pero existen zonas en las que permanece la vegetación nativa del sitio con la presencia de arbustos como guayabilla, cholán, sauco, algarrobo, entre otros. Existen manchones de vegetación en los que se encuentran al cedro andino. También se encuentran matorrales bastante densos con espina de chivo, uña de gato y zonas herbáceas con kikuyo, verbena, entre otras.

5.2.1.1.4. Altura

Los eucaliptos alcanzan entre 10 a 12m de altura, aunque se tienen individuos de mayor altura, se encuentran arbustos con 3 a 4m de altura y hiervas.

5.2.1.1.5. Diversidad de Especies

La formación vegetal natural ha sido removida y reemplazada por cultivos forestales de *Eucalyptus globulus*, cultivos y pastizales, solo se encuentran manchones o remanentes pequeños y generalmente se encuentran en quebradas. Se pueden encontrar algunas especies arbóreas y arbustivas características como *Psidium* cf. *guineense* (guayabilla). *Tecoma stans* (cholán). *Phyllanthus salviifolius*, *Mimosa albida* (uña de gato), *Byttneria ovata*, *Duranta triacantha* (espino chivo) y muchas más.

En la fauna del sector se encuentran algunas especies como *Sylvilagus brasiliensis*, *Conepatus* sp., *Buteo* sp., Falcón sp., Colibrí sp., *Phalcoboenus* sp., *Zenaida* sp., *Tyto alba*, *Fulica ardesiaca*, *Columbia fasciata*, *Columbina passerina*, entre otras.

5.2.2. Características a considerar en el Diseño de la Red

5.2.2.1. WSN

5.2.2.1.1. Ambiente de Trabajo

El bosque en donde se pretende implementar el sistema de alerta temprana presenta condiciones ambientales variadas, a las que el prototipo deberá responder de una manera adecuada. Más adelante se realiza las pruebas correspondientes para determinar el correcto funcionamiento del sistema en su totalidad.

5.2.2.1.2. *Enlace inalámbrico*

Para la comunicación entre los nodos sensores y nodo central se debe tomar en cuenta que estos deberán estar instalados en un área específica que corresponda a su alcance de operación, con obstáculos como: árboles, vegetación menor y demás componentes de un bosque. La distancia entre nodos se la establece alrededor de 3 a 5 metros. Además de que esta información debe subirse a la plataforma PaaS en la Nube mediante una conexión activa a Internet, por lo que se dimensiona un enlace inalámbrico entre la Loma de Guayabillas hasta la Universidad Técnica del Norte para esta finalidad.

5.2.2.1.3. *Fuente de energía*

Al diseñar totalmente un red inalámbrica de sensores se propone que todos los nodos sensores y nodo central tengan una batería que les proporcione la energía para el funcionamiento y por facilidad de instalación y evitar el mayor número de cables. Como alternativa de autonomía de fuente debido a su ubicación se realizará la propuesta de una alimentación alternativa basada en paneles solares de acuerdo al consumo de energía tanto de los nodos sensores como del Gateway.

5.2.2.1.4. *Exigencias de Desempeño de la Red*

La red WSN tiene que cumplir con ciertos parámetros tal y como se muestran a continuación:

- La red debe permitir recibir, transmitir, procesar, y registrar la información recolectada de cada nodo y los sensores conectados a este.

- Mediante una interfaz en la nube se pueda visualizar los datos obtenidos por cada nodo sensor.
- Adaptabilidad y facilidad de cambio en caso de que se desee tomar información de variables ambientales adicionales.

5.2.3. Descripción del Sistema de Monitoreo

La red WSN está diseñada básicamente de tres nodos sensores y un nodo central o Gateway que es el que permitirá la comunicación entre la red WSN y la red TCP/IP, y así los datos recolectados por lo nodos sensores sean transmitidos y llevados a la plataforma PaaS en la nube como muestra en el Diagrama de Bloques de la Figura 22.

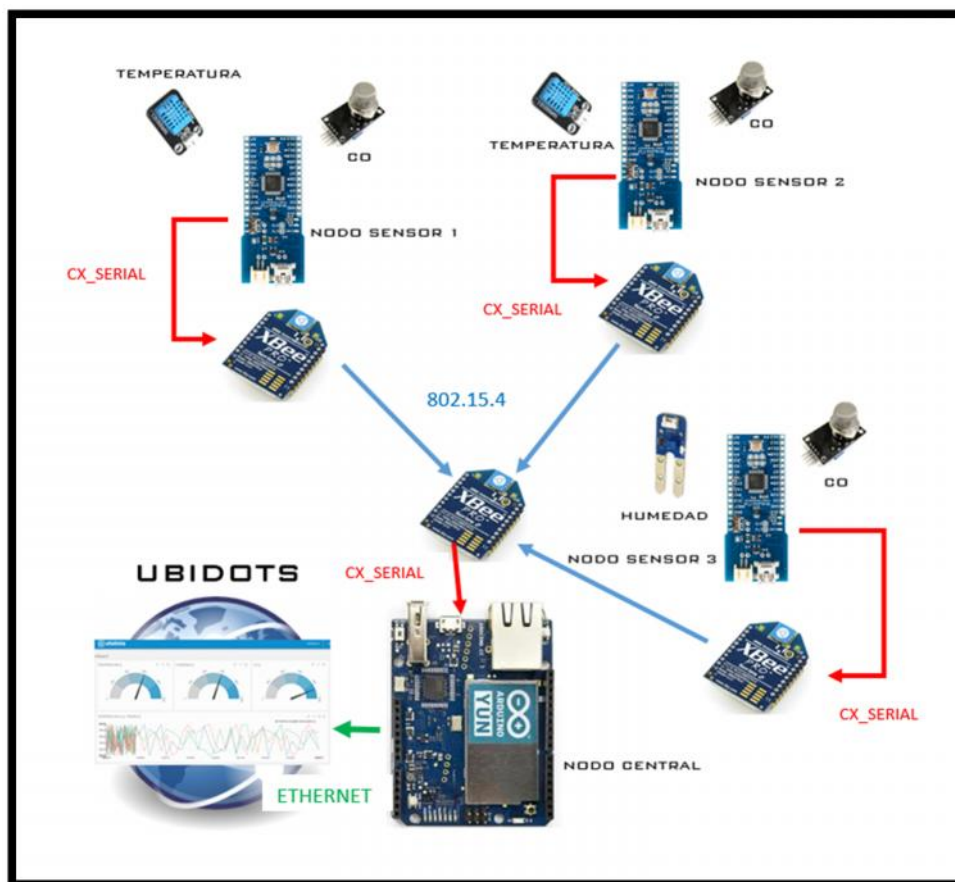


Figura 22. Arquitectura del sistema de Alerta Temprana

Fuente: Elaborado por el Autor.

Para el desarrollo de la red se toma en cuenta cinco procesos: censado, transmisión de datos, procesamiento de la información, respuesta y alimentación, cada uno de estos procesos tienen su debida contribución para el adecuado funcionamiento de la red.

En el sistema planteado se obtendrá información de sensores de: temperatura, humedad relativa, concentración de CO, humo y flama, luego de lo cual estas se enviaran al nodo central para llevar un registro de los datos obtenidos mediante un acceso remoto por una interfaz hacia la plataforma en la nube.

Los datos recolectados por los sensores se los puede visualizar como estadísticas e indicadores visuales en la plataforma PaaS mediante graficas de acuerdo al tiempo y a los valores que se obtengan.

De igual manera de acuerdo a los valores obtenidos por los sensores, que es el principal influyente en el funcionamiento del sistema, se producirá la señal de respuesta del sistema generando las alertas.

5.2.3.1. Módulo Sensor

Poseen sensores de temperatura, flama, monóxido de carbono, humo y humedad relativa, dos sensores por cada módulo sensor, la señal sea análoga o digital que envían dichos sensores ingresan al Arduino FIO, pasan por una conversión análoga-digital de ser el caso para que se pueda procesar dichos valores análogos y mediante la comunicación UART los datos obtenidos pasan al bloque de la comunicación

inalámbrica, los módulos Zigbee, y seguidamente estos transmiten los datos de forma inalámbrica hacia el nodo central.

Los otros dos módulos sensores tienen la misma funcionalidad, adquisición y transmisión de datos que el modulo sensor 1, ya que serán colocados en diferentes sitios, a continuación, en la Figura 23, se muestra el diagrama de bloques del Módulo Sensor.

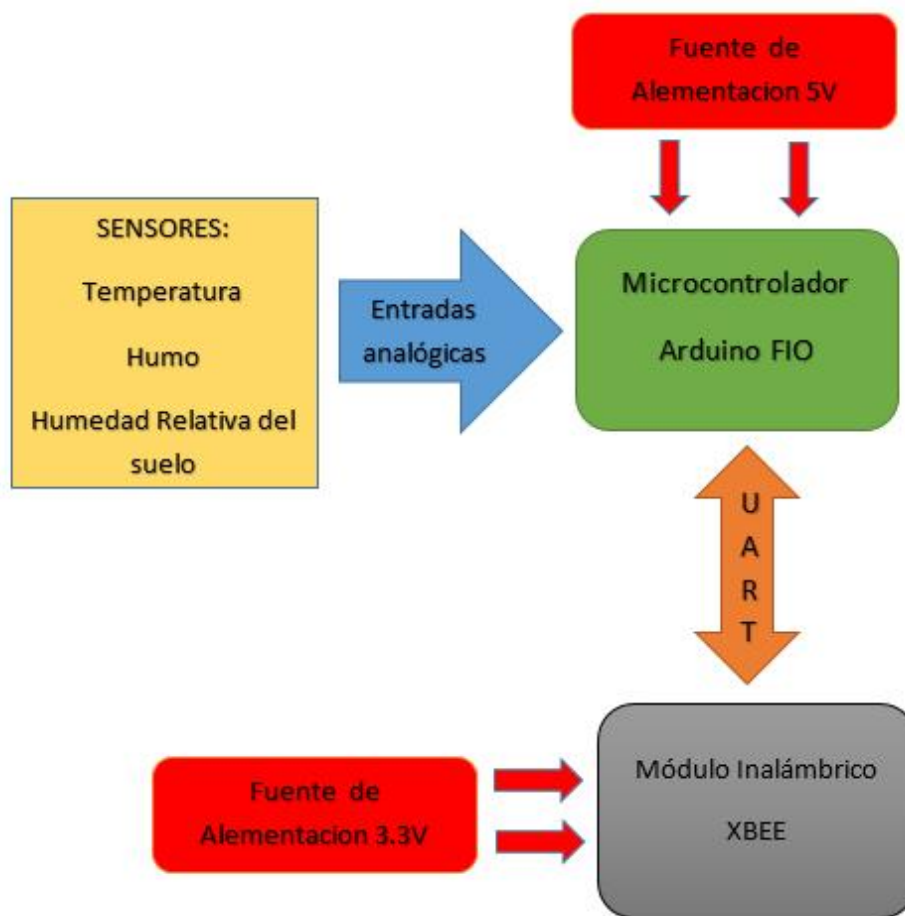


Figura 23. Diagrama de Bloques Módulo Sensor

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.2.3.2. Módulo Central

Es el coordinador de la red WSN, al obtener los datos de los nodos sensores mediante comunicación inalámbrica, en este caso se utiliza una placa Arduino YUN

que permitirá enviar los datos obtenidos en la red WSN hacia la plataforma PaaS de la nube mediante una conexión a Internet sea por su puerto Ethernet o por el módulo WiFi que posee, de esta forma se tiene la información almacenada en la nube a la cual se puede acceder de manera remota y, si es el caso, estar en constante monitoreo de las variables.

Si los sensores envían un dato que supere los valores umbrales, se generan alertas remotas, como mensajes de correo electrónico, redes sociales, mensajes de texto, en este punto se hará la elección de la mejor opción de envío de alerta que puede ser una o varias de estas opciones combinadas.

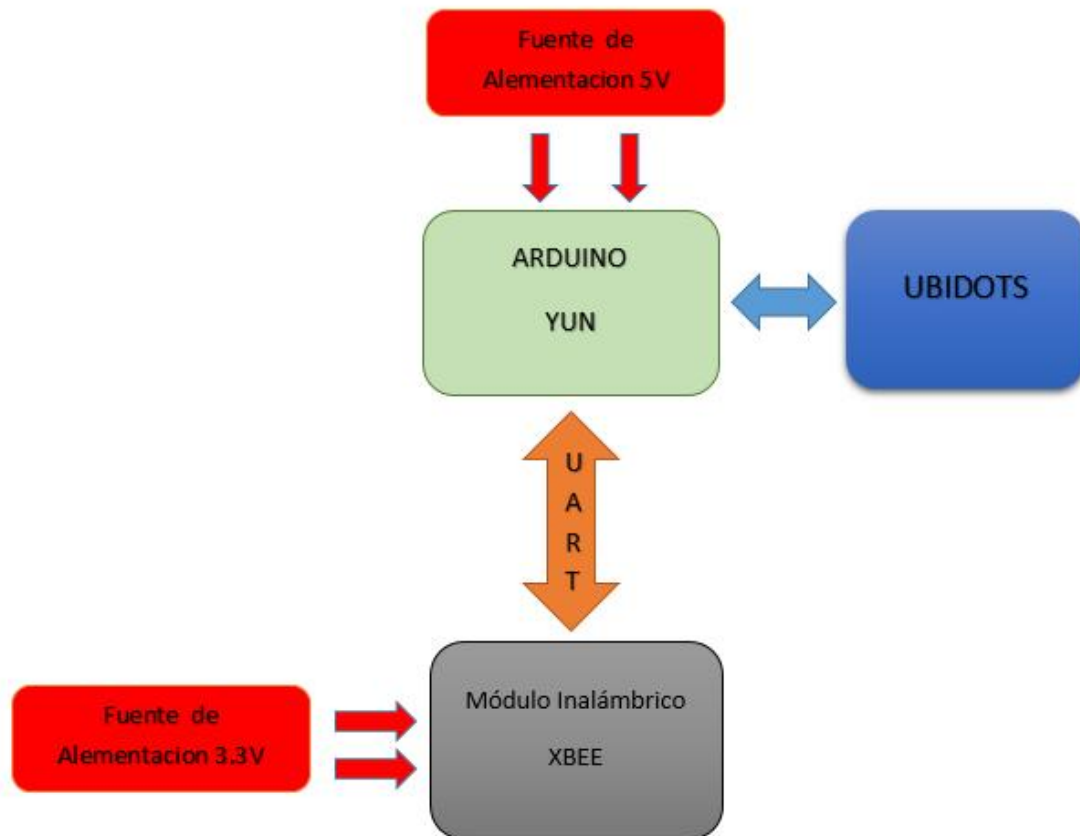


Figura 24. Diagrama de Bloques Módulo Central

Fuente: Elaborado por el Autor.

La topología determinada para este tipo de red WSN es de árbol debido a la

centralización de la información en un solo nodo, el cual se encuentra comunicado directamente con cada nodo sensor, como se indica en la Figura 24.

5.2.4. Diseño de la Red de Sensores Inalámbricas

En el diagrama de la Figura 22 se muestra la estructura de la red de sensores, la plataforma como servicio en la nube que se utiliza y algunos servicios con los que se puede comunicar la red WSN mediante el uso de la plataforma PaaS.

5.2.4.1. *Proceso de Sensado.*

En base a las características propias del fuego y su dinámica en un incendio forestal, como se indica en la sección anterior en la Teoría del Fuego se puede comprender que las variables a ser tomadas en cuenta para detectar la presencia de un incendio forestal están relacionadas con múltiples variables, por lo que se ha decidido que para la obtención de información de la manera más adecuada se va a considerar algunos sensores de distinta naturaleza, como son: Temperatura, humedad relativa, humo y de monóxido de carbono.

En el mercado existen variedad de sensores que miden los parámetros antes considerados, la elección de los mismos recae en la sensibilidad, practicidad de uso, costo y disponibilidad en el mercado nacional, e interoperabilidad con las plataformas de open hardware elegidas para el diseño. En base a esto se eligieron los siguientes sensores a utilizar, en este caso: el sensor de CO MQ-7, el sensor de temperatura DTH-11, sensor de humo MQ-2, sensor de flama y sensor de humedad relativa del suelo LM393.

A continuación se detallan las características de cada uno de ellos.

5.2.4.2. Sensores Utilizados en el proceso de Monitoreo.

5.2.4.2.1. Sensor de Monóxido de Carbono MQ-7

El sensor MQ-7 tiene una facilidad en su uso, al poseer una respuesta analógica, es decir, de acuerdo a los valores registrados, este proporciona valores resistivos, el sensor que se muestra en la Figura 25.



Figura 25. Sensor MQ-7 Monóxido de Carbono

Fuente: <http://www.openhacks.com/page/productos/id/102>

Es una adaptación a una pequeña placa con un potenciómetro para su regulación en el cual posee 3 pines de conexión Vcc, GND, S (pin de envío de datos), de igual manera en la Figura 26 se muestra el diagrama esquemático de esta adaptación que se le realiza al sensor.

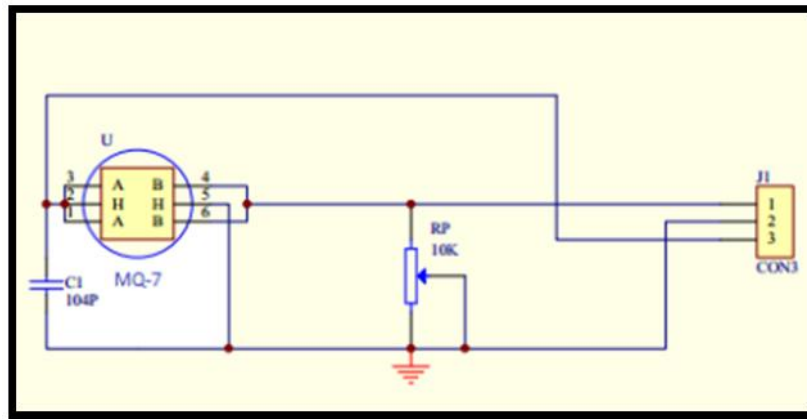


Figura 26. Diagrama Esquemático del sensor MQ-7

Fuente: Open Hacks http://www.openhacks.com/uploadsproductos/mq-x_schematic.pdf

El MQ7 puede detectar concentraciones de gas de monóxido de carbono CO dentro del rango de 50 hasta 10000 ppm. Para el manejo de este sensor se lo conecta a una entrada analógica del Microcontrolador para realizar la respectiva conversión AD.

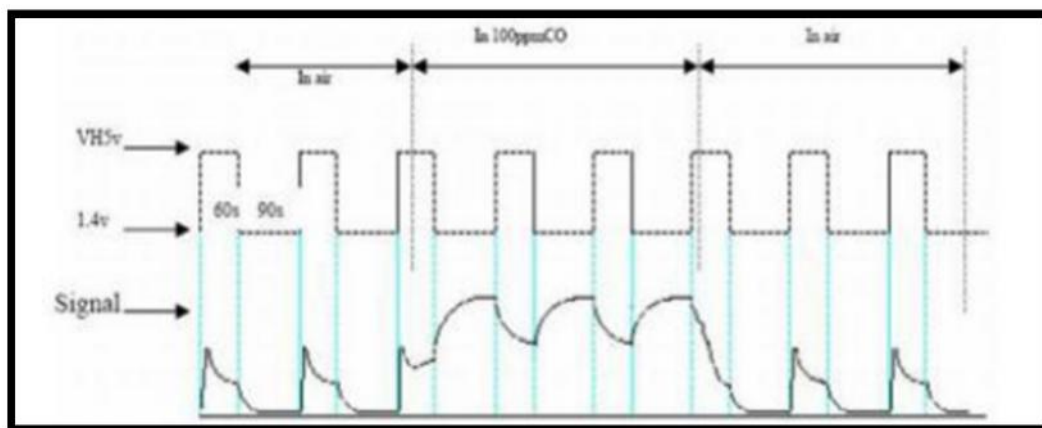


Figura 27. Formas de onda de funcionamiento del sensor

Fuente: Datasheet del sensor MQ-7

La Figura 27 se muestra la situación alterable de la señal de salida de RL, cuando el sensor pasa de aire limpio a CO, la medida de la señal de salida debe ser hecha dentro de uno o dos períodos completos de calentamiento (2.5 minutos desde voltaje

alto a voltaje bajo), que son las especificaciones técnicas del sensor.

5.2.4.2.2. Sensor de Flama

El sensor de flama se utiliza para detectar fuego, como se muestra en la Figura 28, su funcionamiento se basa en el principio de sólo recibir señales de una longitud de onda de 760nm-1100nm de luz.

Es utilizado regularmente para detectar lugares con indicios de llama. La temperatura del sensor está desde los -25 a los 85 Grados Celsius, un factor a tomarse en cuenta es que la sonda del dispositivo no debe estar cerca para evitar daños del mismo.

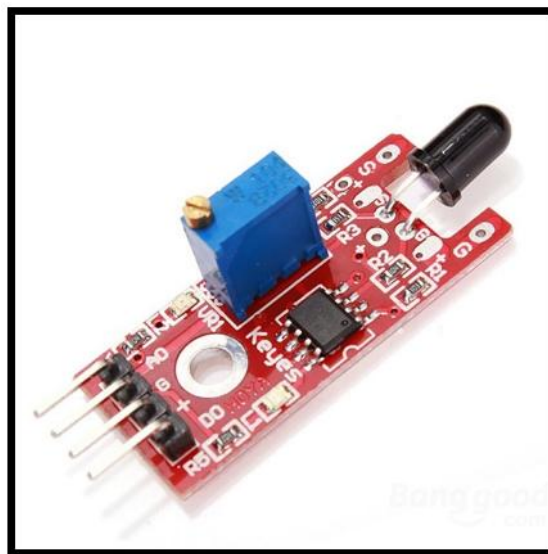


Figura 28. Sensor de Flama

Fuente: http://mla-s2-p.mlstatic.com/modulo-detector-de-fuego-sensor-de-llama-arduino-pic-avr-21804-MLA20219257937_122014-F.jpg

Características.

- Sensor Análogo
- Alimentación 5v.

- Rango de detección de 20cm a 100cm.
- Detección de 760 nm ~ 1100 nm de longitud de onda.

5.2.4.2.3. *Sensor de Humo MQ-2*

Es un módulo sensor análogo utilizado en las industrias para la detección de posibles fugas de gas y GLP, butano, propano es muy sensible y su tiempo de respuesta es muy rápido. Tiene cierta sensibilidad a humo la cual debe ser ajustada mediante el potenciómetro. Las características físicas se observan en la Figura 29.

Características.

- Alimentación 5v.
- Sensor Análogo.
- Amplio Alcance de Detección.
- Respuesta Rápida.
- Tamaño 40x20mm (Modulo sensor de Gas)

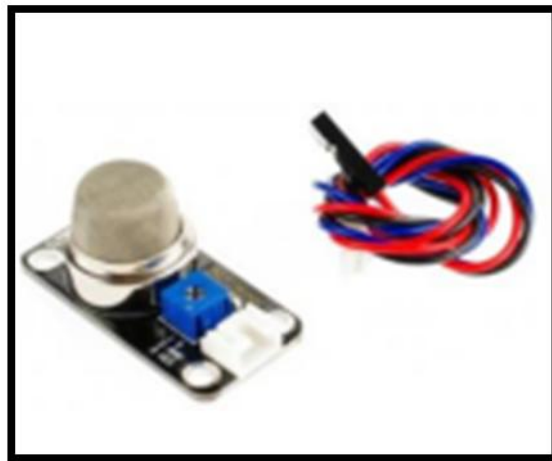


Figura 29. Sensor de Humo MQ-2

Fuente: http://img.dxcn.com/productimages/sku_149637_1.jpg

5.2.4.2.4. Sensor de Temperatura DTH-11

El sensor de temperatura y humedad, como se indica en la Figura 30, es un sensor digital muy estable a largo plazo. Tiene un rendimiento de 8 bits internamente tiene un NTC para la respuesta ante la temperatura. Sus principales ventajas son la rapidez de respuesta inmunidad a la interferencia y alto rendimiento.



Figura 30. Sensor de Temperatura DTH11

Fuente: TECTRONIX CL Obtenido de:

http://www.tectronix.cl/media/catalog/product/cache/3/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/s/e/sensor_de_temperatura_y_humedad_dht11_2.jpg

Características.

- Tensión de Alimentación 5v
- Rango de Temperatura. 0 a 50 °C
- 20 a 90 % RH humedad.
- Interfaz Digital. (Modulo sensor de temperatura y humedad)

5.2.4.2.5. Sensor de Humedad Relativa del Suelo LM393

En la medición de este parámetro se usara un sensor hidrómetro externo que permite detectar el nivel de humedad del suelo, el mismo que interactuara con a la alimentación y pin analógico de un módulo Arduino para comunicarse con el nodo sensor e incorporar este parámetro a la trama de datos a transmitirse, este sensor externo posee sensibilidad ajustable (ajuste el potenciómetro), tensión de funcionamiento 3.3V - 5V, módulo de doble modo de salida (digital y analógica) y un chip comparador LM393 como se muestra en la Figura 31.

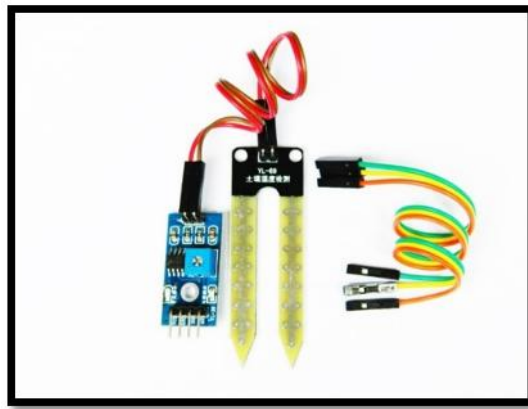


Figura 31. Módulo Sensor de Humedad del Suelo LM393

Fuente: EDUCATRONICA. Obtenida de <http://goo.gl/dz8sDd>

Especificación de interfaz (4 hilos):

- VCC (pin 1).- VCC externa 3.3V-5V
- GND (pin 2).- GND externo
- DO (pin 3).- Tarjeta de interfaz de salida digital (0 y 1)
- AO (pin 4).- Tarjeta de interfaz de salida analógica

El nodo sensor además de recolectar información de humedad, temperatura y luminosidad, posee un circuito divisor de voltaje interno que permite conocer el nivel de voltaje

que posee las baterías (o alimentación) del nodo y esta información junto al ID identificador propio de cada nodo también es agregada a la trama que se transmitirá, todas las características de los sensores utilizados se las puede encontrar en el ANEXO 4.

5.2.4.3. *Proceso de Transmisión de Datos.*

En el diseño del sistema de monitoreo, para la etapa de procesamiento de los datos, se ha empleado el uso de placas Arduino que para la elección de las más adecuadas se realizó una comparación, tanto para los nodos sensores como para el nodo central.

En el caso para los nodos sensores se eligió Arduino FIO, por las características y objetivos para el cual fue diseñado, es decir, sirve para redes inalámbricas ya que viene incorporado un socket ZigBee, compatible con baterías LiPo y posee un cargador para este tipo de baterías, además el puerto USB tipo B. Para el nodo central se eligió la placa Arduino YUN, ya que posee características que le permiten trabajar dentro de una red o internet sea mediante cable o mediante WiFi, su diseño fue orientado para la creación del Internet de las Cosas.

5.2.4.3.1. *Arduino FIO*

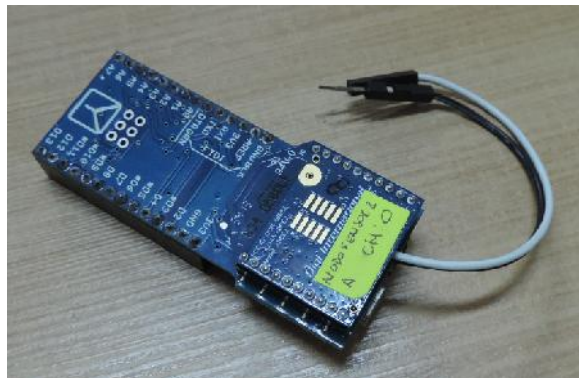


Figura 32. Placa Arduino FIO

Fuente: Elaborado por el Autor.

Arduino FIO se lo eligió por la ventaja de tener incorporado un socket ZigBee, puede incorporarse una batería, su pequeño tamaño haciéndolo ideal para que se aplicado en redes inalámbricas, como se lo muestra en la Figura 32.

Entre las características principales, todas las características se pueden observar en el ANEXO 4, que son necesarias para el sistema de monitoreo, y que poseen toda la gama de Arduino, tal y como se indican en la Figura 33, están:

- Entradas análogas que permiten la conexión de diferentes tipos de sensores, para la recepción de información del medio en el que se encuentre.
 - Pines de Tx y Rx para la comunicación UART la cual es utilizada para la conexión con los módulos Zigbee y por tanto la comunicación inalámbrica con los nodos sensores.
 - Pines de entrada y salida para la lectura y escritura de estados digitales.
- *Características Generales.*

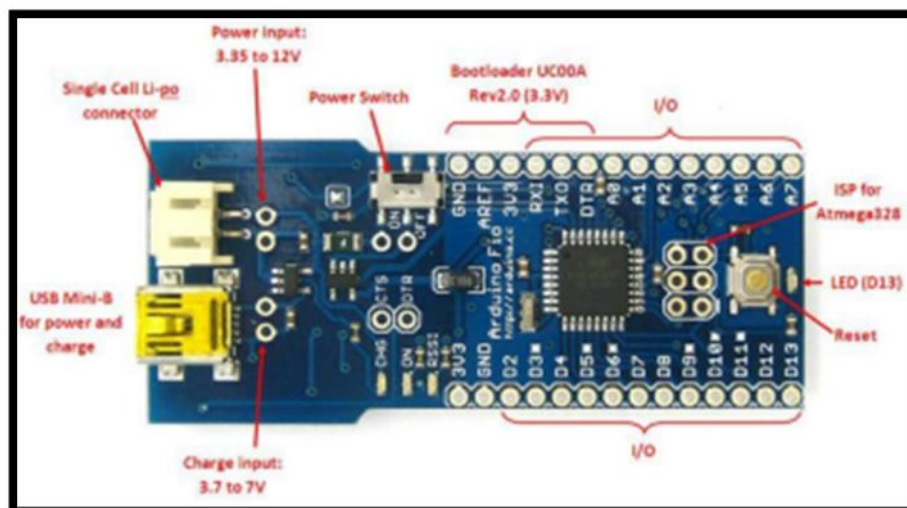


Figura 33. Diagrama de funcionalidad de pines Arduino FIO

Fuente: Arduino

Recuperado de: http://blog.bricogeek.com/img_cms/1503-arduino-fio.jpg

Las características de Arduino FIO se encuentran especificadas a continuación:

- Velocidad de 8 MHz
 - Posee Base para X-Bee
 - Arduino Bootloader
 - Compatible con baterías de Litio-Polímero LiPo
 - Botón de reset
 - Switch de encendido
 - Tamaño: 67 x 29mm
 - Comunicación Serial: RXI (D0) and TXO (D1). Estos pines están conectados al socket Xbee.
 - Interrupciones Externas: 2 y 3
 - Salidas PWM: 3, 5, 6, 9, 10, y 11.
 - LED: 13. Led conectado al pin 13.
 - Tiene 8 entradas análogas con una resolución de 10 bits (1024 valores diferentes)
 - Comunicación I2C: 4 (SDA) and 5 (SCL).
-
- *Configuración conversor analógico digital.*

Un conversor analógico-digital es un dispositivo electrónico capaz de convertir una señal analógica en un valor BINARIO, en otras palabras, éste se encarga de transformar señales analógicas a digitales (0 y 1).

El dispositivo establece una relación entre su entrada (señal analógica) y su

salida (digital) dependiendo de su resolución. La resolución determina la precisión con la que se reproduce la señal original. Esta resolución se puede saber, siempre y cuando se conozca el valor máximo de la entrada a convertir y la cantidad máxima de la salida en dígitos, tal y como se muestra en la ecuación 2.

Binarios.

$$\text{Resolución} = +V_{\text{ref}} / 2^n - 1$$

Ecuación 2. Cálculo de la Resolución de una Entrada Analógica

Donde n son bits.

La tarjeta Arduino utiliza un conversor A/D de 10-bits, así que: Resolución = $V_{\text{ref}}/1024$ y mapeará los valores de voltaje de entrada, entre 0 y V_{ref} voltios, a valores enteros comprendidos entre 0 y 1023 (2^n-1). Con otras palabras, esto quiere decir que los sensores analógicos están caracterizados con un valor comprendido entre 0 y 1023.

- *Configuración comunicación UART.*

El módulo USART puede ser configurado de dos maneras: asíncrona (bidireccional) y síncrona (direccional) en el caso específico de la presente aplicación se utiliza la primera.

Los bits de información en el modo síncrono se transmiten en ambos sentidos por la línea de datos DT a la frecuencia de los impulsos que genere el maestro por la línea de reloj CK.

- *Uso de Interrupciones.*

Existen diferentes tipos de interrupciones dentro del módulo de Arduino, dependiendo de la gama de Microcontrolador que se esté utilizando, de entre los cuales un ejemplo es el uso de timers. Un timer es un contador interno que puede funcionar a la frecuencia que marca un reloj, el reloj bien puede ser externo o interno. El timer funciona mediante un aumento del Counter Register, según como se lo configure, su conteo será una frecuencia mayor o menor y una vez que se acabe el conteo existirá un desbordamiento para el que se lo ha configurado y activará el bit flag que se encarga de avisar que el timer finalizó y empezará de nuevo.

Debido a que el timer depende de una fuente de reloj para su funcionamiento, la unidad más pequeña medible será el periodo, Ecuación 3.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{16 \text{ MHz}} = 62.6 \text{ ns}$$

Ecuación 3. Fórmula del periodo

En los chips AVR Atmega 168 y 328 se dispone de 3 Timers, estos chips son los comúnmente utilizados en las placas Arduino.

- *Timer 0:* Temporizador de 8 bits, registrará como máximo 256 valores.

Es usado en las funciones delay () y millis (), por lo que se debe tenerlo en cuenta a la hora de

- *Timer 1:* Temporizador de 16 bits, registrará como máximo 1024

valores. Es usado en la librería servo.

- *Timer 2*: Temporizador de 8 bits. Es muy similar al Timer 0 y es usado en la función tono ().

A continuación, en la Tabla #, se muestra la distribución de pines del Arduino FIO utilizadas en el diseño propuesto.

Tabla 3. Distribución de pines del microcontrolador Arduino FIO

PIN		TIPO DE	
ARDUINO	I/O	DATO	ESPECIFICACIÓN/FUNCIÓN
23	I	Analógico	Sensor Temperatura
24	I	Analógico	Sensor Humedad
25	I	Analógico	Sensor Monóxido Carbono
26	I	Analógico	Batería
30	I	Digital	Rx Modulo XBEE
31	O	Digital	Tx Modulo XBEE
1	O	Digital	Alarma

Fuente: Elaborada por el Autor.

5.2.4.3.2. *Arduino YUN*

Arduino YUN se lo eligió por ser una placa diseñada para ser utilizada para conexión a internet, y para el diseño propuesto servirá como Gateway entre las dos redes XBee y TCP/IP. Arduino YUN viene incorporado una tarjeta inalámbrica WiFi y un conector Ethernet que permiten conectividad a Internet.



Figura 34. Placa Arduino YUN

Fuente: Página Web Arduino <https://cdn-shop.adafruit.com/1200x900/1498-00.jpg>

En la Figura 34 se muestra la vista frontal Arduino YUN, esta placa es la primera de una nueva serie de Arduino que se combinan junto con Linux.

Combina el Microcontrolador ATmega32U4 junto con un módulo SOC (System on a Chip) en la cual corre una distribución de Linux llamada Linino, basada en OpenWRT. Una de las características más interesantes es que soporta red cableada Ethernet y WiFi.

- *Características Especiales.*

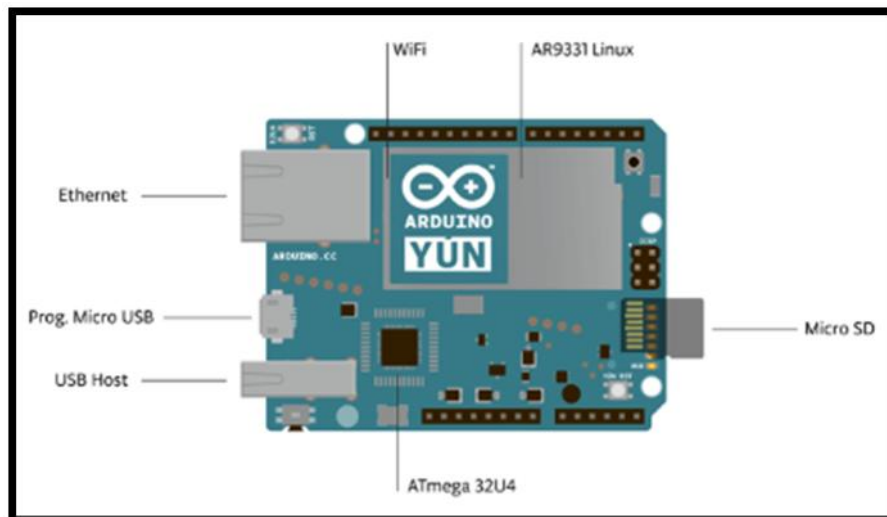


Figura 35. Características Principales de Arduino YUN

Fuente: Pagina Web Arduino

Recuperado de: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardYun?from=Products.ArduinoYUN>

En la Figura 35 se muestra los elementos adicionales y que hacen que el Arduino YUN a diferencia de otros sea un módulo potente gracias a las características que se le ha implementado, las características se pueden observar en el ANEXO 4.

- *Configuración comunicación UART.*

El módulo USART puede ser configurado de dos maneras: asíncrona (bidireccional) y síncrona (direccional) en el caso específico de la presente aplicación se utiliza la primera.

Los bits de información en el modo síncrono se transmiten en ambos sentidos por la línea de datos DT a la frecuencia de los impulsos que genere el maestro por la línea de reloj CK.

En la Tabla 4, se especifica la distribución de pines del Arduino YUN.

Tabla 4. Distribución de pines del microcontrolador Arduino YUN.

PIN		TIPO DE	
ARDUINO	I/O	DATO	ESPECIFICACIÓN/FUNCIÓN
41	I	Analógico	Bateria
20	I	Digital	Rx Modulo XBEE
21	O	Digital	Tx Modulo XBEE
1	O	Digital	Alarma

Fuente: Elaborada por el Autor.

5.2.4.3.3. Módulo Xbee

Para la elección del adecuado módulo Xbee para la comunicación inalámbrica se realizó una comparación entre diferentes módulos, en donde de acuerdo al tipo de antena, rango, y nivel de potencia se eligió módulos Xbee Series 2 (Xbee S2), Figura 36, con antena tipo Chip.

Este módulo a diferencia de los S1 tiene la capacidad de soportar redes modo malla y no únicamente punto a punto. La potencia aumenta en un mW a comparación con el Xbee S1 y el alcance en modo indoor es considerable para la aplicación que se desarrolla y no hay la necesidad de que exista línea de vista ya que no hay un amplio lugar de trabajo, así que los módulos Xbee PRO para este caso no son necesarios.



Figura 36. Módulo Xbee S2

Fuente: www.tynisshop.com Obtenida de:

<http://www.tinyosshop.com/image/cache/data/XBEE/XBee%20S2%20-1-600x600.jpg>

El módulo XBee que se utiliza es de Digi, la Serie 2 mejora en el protocolo de salida de energía y datos. Los módulos de la Serie 2 permiten crear redes de malla complejas basadas en el firmware de malla XBee ZB ZigBee. Estos módulos permiten una comunicación entre microcontroladores, ordenadores, sistemas, soporta redes Punto a punto y multipunto.

Los módulos de la Serie 1 y Serie 2 de XBee tienen el mismo pin-out, sin embargo, entre módulos de la Serie 1 y Serie 2 no se pueden comunicar.

- *Características Técnicas.*
 - 3.3V @ 40mA.
 - Máxima velocidad de datos 250kbps
 - Salida de 2mW (+3dBm).
 - Rango de 120m
 - Antena incorporada

- a 10-bit ADC input pins
- 8 digital IO pins.
- 128-bit de Encriptación
- Configuración local o inalámbricamente

Este módulo XBee s2 es el medio de comunicación entre los nodos sensores y el nodo central, se conecta directamente a los pines Rx (recepción) y Tx (Transmisión) de los módulos Arduino e inmediatamente busca más dispositivos que se encuentren en su misma red para asociarse a ellos; el tiempo que tarda en realizar el proceso de asociación va entre 8 a 10 segundos, todas las características del módulo Xbee S2 se pueden observar en el ANEXO 4.

- *Procesamiento de información*

La información obtenida por los nodos sensores se concentraran en el nodo central que es el Arduino YUN que al mismo tiempo se encargará procesar la información y enviar ésta a la plataforma como servicio en la nube, y ahí se alojen los datos. El Arduino YUN que se conectara tanto a la red TCP/IP como a la red Zigbee, es decir, cumple con el trabajo de Gateway de la red y por otro lado la interfaz en donde se puede observar los datos obtenidos de los nodos sensores está desarrollada en la nube, mediante la plataforma Ubidots.

- *Proceso de respuesta*

El proceso de respuesta está dado por la reacción del sistema ante los eventos

emergentes y generar las alarmas adecuadas y correctas según los datos obtenidos por los nodos sensores, en otras palabras mantener los valores de las variables a monitorear, dentro de las referencias que se encuentran establecidas en la interfaz en la nube.

- *Proceso de alimentación*

Para que exista un funcionamiento de los nodos sensores de la red WSN, como todo sistema eléctrico o electrónico, se necesita de una fuente de alimentación. Para este caso se decidió tomar en cuenta el hecho que son nodos sensores inalámbricos, así que se utiliza baterías LiPo para proporcionar energía a los nodos y sean netamente nodos inalámbricos y una conexión alterna hacia paneles solares para mantener la autonomía de fuente de la WN, el Gateway se alimentará mediante una conexión a la red eléctrica AC.

A continuación se realizan los cálculos para el dimensionamiento de baterías para los nodos sensores y los paneles solares que alimentarán a dichas baterías para posteriormente mostrar el circuito de conexión AC del Gateway.

- *Cálculos de Alimentación*

Para la alimentación de los nodos sensores se escogió baterías LiPo de 7,4 V a 2200 mAh, teniendo en cuenta las características de la batería, los cálculos de la vida útil son los siguientes.

En la Tabla 5 se resume el consumo energético de cada uno de los sensores utilizados en el sistema de alerta temprana.

Tabla 5. Características de Consumo de dispositivos en un nodo sensor

Sensors	Modo Normal mA	Modo Dormido mA
MQ-7	7.5	7.5
MQ-2	7.3	7.3
Sensor de Flama	35	3
Xbee S2	29.5	0.001
Sensor de Temperatura DTH11	0.5	0.1
ArduinoFIO	40	40

Fuente: Elaborado por el Autor.

Tcn = Tiempo Consumo Normal

Tcd = Tiempo Consumo Dormido

Icn = Intensidad de Corriente Consumo Normal

Icd = Intensidad Corriente Consumo Dormido

Debido a que cada nodo sensor tiene 2 sensores diferentes a continuación se aplica que el consumo es:

$$Consumo = \frac{Tcn \times Icn + Tcd \times Icd}{Tcn + Tcd}$$

Ecuación 4. Fórmula del consumo

Para el desarrollo del proyecto se toma en cuenta los siguientes valores de tiempo basados en la experimentación y respuesta de caa uno de los elementos a utilizar:

Tcd = 30 segundos, Tcn = 5 segundos, Icn = 77 mA, Icd = 47,501 mA

Con estos datos detallados se obtiene la siguiente respuesta:

$$\text{Consumo} = \frac{5 \times 77 + 30 \times 47,501}{5 + 30}$$

$$\text{Consumo} = 51.71 \text{ mA}$$

Ecuación 5. Resultado del cálculo del consumo

Se tiene disponible una batería de 7,4 V con 2200 mAh, el cálculo de la vida de la batería sería:

$$\text{Vida Batería} = \frac{\text{Capacidad de Batería}}{\text{Consumo}}$$

$$\text{Vida Batería} = \frac{2200 \text{ mAh}}{51,71 \text{ mA}}$$

$$\text{Vida Batería} = 42,54 \text{ horas} \approx 1 \text{ día con } 8 \text{ horas}$$

Ecuación 6. Tiempo de suministro de la batería

Las baterías y su conexión con los paneles solares son las encargadas de suministrar energía a los nodos sensores, por lo que se diseñara una fuente de energía solar que suministre un voltaje adecuado para el funcionamiento de los nodos, y para el nodo servidor y el Gateway se usara la energía de la red eléctrica AC del Bosque protector Guayabillas.

- *Fuente DC*

La fuente DC se encargará de alimentar a los tres nodos sensores de la WSN que se ubicarán en campo abierto, y estará compuesta por un panel solar fotovoltaico o

módulo fotovoltaico que está compuestos por dispositivos semiconductores tipo diodo (células fotovoltaicas), que al recibir la radiación solar se estimulan y generan diferencia de potencial en sus extremos (voltaje). El acoplamiento en serie de estas células permite obtener voltajes DC adecuados para alimentar dispositivos electrónicos como lo es el Arduino FIO que opera con un voltaje de 3.3 y 12V, y a través de sí mismo se conectaran y alimentaran los módulos sensores compuestos por los Xbee S2 y sus respectivos sensores que operan con voltajes de 3.3 que son los V como voltaje límite.

Esta electricidad se puede utilizar de manera directa o almacenar en acumuladores, para el diseño de la WSN se almacenara en una batería VRLA (Plomo-Ácido) de 12V/5AH recargable, características suficientes para soportar el consumo de cada nodo.

Además del panel solar y la batería, Figura 37, los nodos sensores cuentan con un circuito supervisor de voltaje de alimentación (SVS) integrado para proteger y suministrar energía correcta a todos los elementos electrónicos que confirman un nodo sensor.

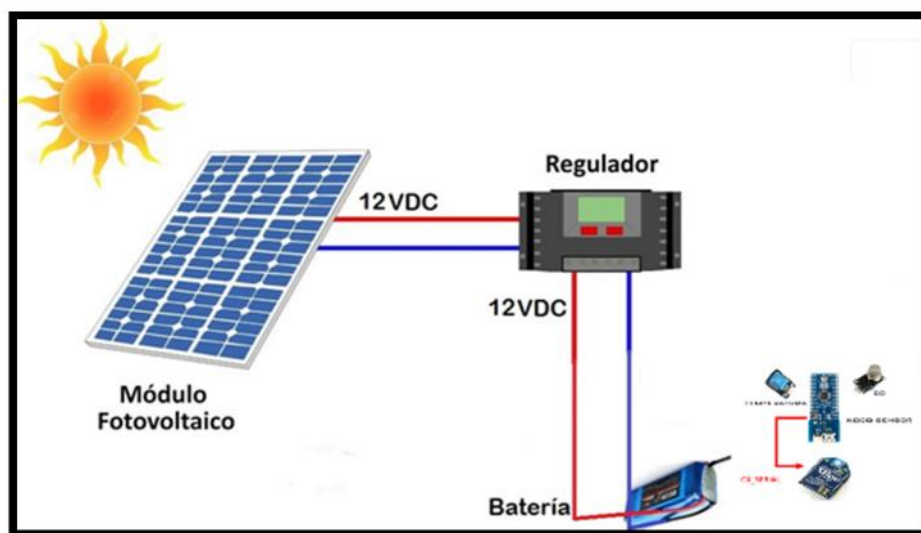


Figura 37. Esquema de conexión de la fuente de energía DC al nodo sensor

Fuente: Elaborado por el Autor.

- *Fuente AC*

La fuente AC será propiamente la red eléctrica de 110 voltios de corriente alterna a 60 Hz del Bosque Protector Guayabillas, esta fuente se encargará de alimentar al Gateway a través de un adaptador de alimentación 120 VAC a 5 VDC, y el Gateway a su vez por medio de uno de sus puertos USB alimentara al nodo central, como se indica en la Figura 38.

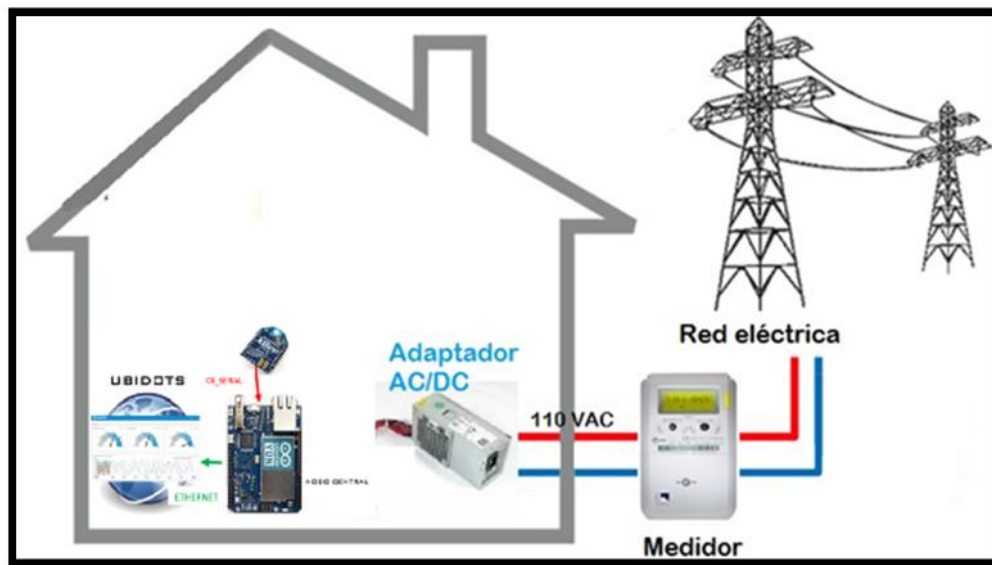


Figura 38. Esquema de conexión de la fuente de energía AC al Gateway

Fuente: Elaborado por el Autor.

Como procedimiento adicional y tomando en cuenta la ubicación tentativa del sistema de alerta temprana, el Bosque Protector Guayabillas, se plantea la conexión de la WSN a la red de infraestructura de la Universidad Técnica del Norte mediante un radio enlace microonda, dimensionado de manera que permita el envío de la información del nodo central de la red de sensores hacia la nube y la plataforma Ubidots a través de la conexión de Internet que dispone la casona de estudio.

5.2.4.4. *Diseño Del Radio Enlace Microonda*

Un radio enlace microonda consiste en la radiación de ondas electromagnéticas de frecuencia desde 300 MHz hasta 30 GHz, mediante antenas directivas. Las ondas electromagnéticas correspondientes a esta parte del espectro, viajan en línea recta, es decir requieren de línea de vista, y además soportan condiciones atmosféricas y de terreno.

5.2.4.4.1. *Zonas de Fresnel:*

La zona de Fresnel es una zona cónica elíptica formada de la energía que propaga la antena que transmite, a la antena que recibe, ensanchándose dicha zona en el centro de la trayectoria entre las dos antenas. Este fenómeno es variable con la frecuencia.

El radio de la n-ésima elipsoide de la zona de Fresnel en un punto específico del trayecto, viene dado por la ecuación #.

$$R_n = \sqrt{\frac{n \times L_A \times L_B}{L}} [m]$$

Ecuación 7. Cálculo del Radio de la Zona de Fresnel

Donde:

- R_n: Radio de la n-ésima región del elipsoide de Fresnel.
- L_A: Distancia desde el punto de estudio al terminal A.
- L_B: Distancia desde el punto de estudio al terminal B.
- L: Longitud total del trayecto.
- : Longitud de onda.

En la primera zona de Fresnel se concentra la mayor parte de la energía radiada, por lo que es importante que se asegure que al menos el 60% del radio de Fresnel, no tenga obstáculos entre los dos terminales, caso contrario, se producen atenuaciones provocadas por difracción o sombra, que si son elevadas, el enlace no es viable.

Para determinar la viabilidad del enlace desde el punto de vista de las zonas de Fresnel, es necesario el trazado del perfil topográfico para determinar si la primera zona se encuentra libre de obstáculos.

5.2.4.4.2. Trazado del Perfil Topográfico.

El perfil topográfico se realiza ubicando las alturas del terreno obtenidas de los mapas cartográficos, a distintas distancias entre los puntos extremos, y se lo dibuja en un plano de referencia con corrección del terreno denominado plano 4/3, teniendo como datos la ubicación geográfica de los puntos extremos.

Una vez realizado el perfil topográfico se añade la altura de las antenas en los extremos, y se traza una línea recta entre los dos puntos indicando si existe línea de vista, donde también se grafica la primera zona de Fresnel para observar si se garantiza las condiciones de Fresnel.

Para el trazado del perfil topográfico en el presente diseño, se utiliza la herramienta de software “Radio Mobile”. En el diseño del enlace de radio se utiliza una frecuencia de uso libre como por ejemplo 5.8 o 2.4 GHz.

En las Figura 39 y 40 se presenta el trazado de perfil entre los nodos Universidad Técnica del Norte y Bosque protector Guayabillas, en el que se observa la existencia de línea de vista (en color naranja) entre los dos puntos, garantizando el 60% de la primera zona de Fresnel (en color azul), por lo que desde este punto de vista, el enlace es viable.

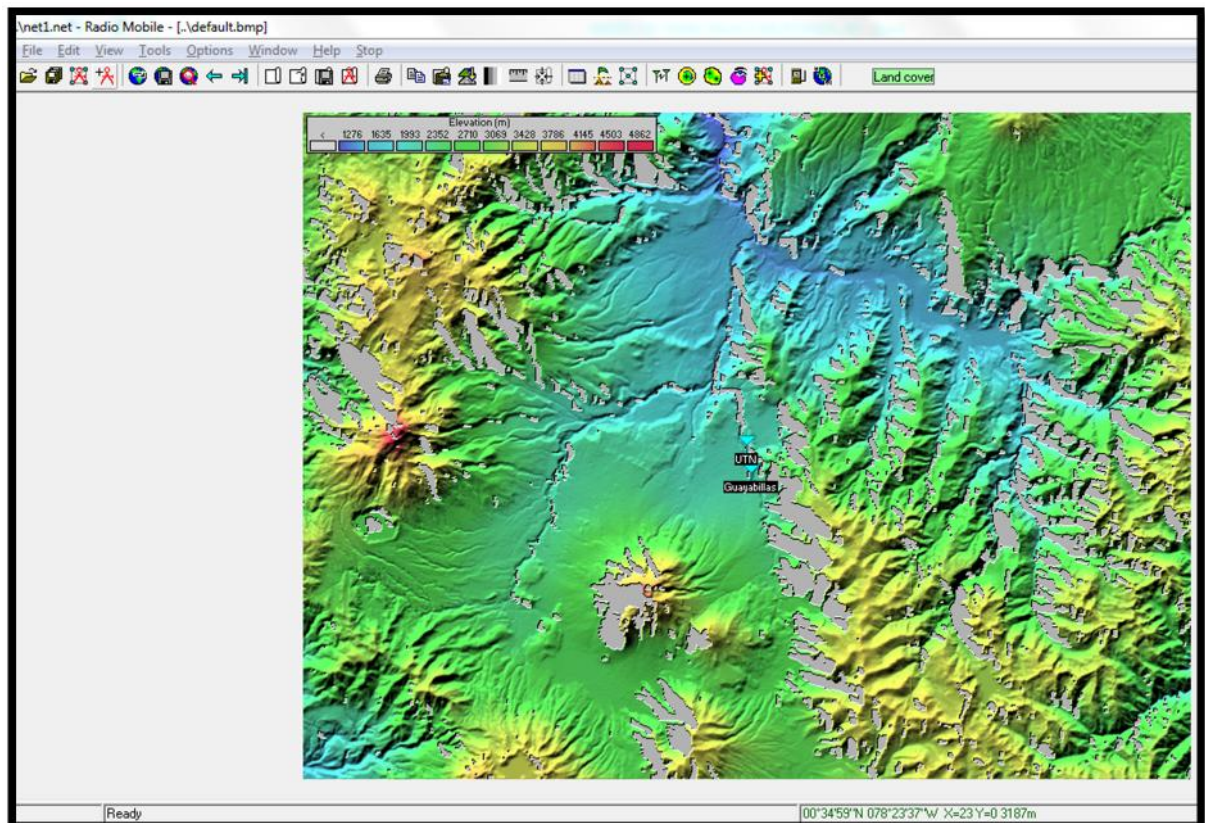


Figura 39. Perfil Topográfico del enlace de Microonda Bosque Protector Guayabillas - UTN

Fuente: Software de Radiocomunicaciones Radio Mobile. Elaborado por el Autor.

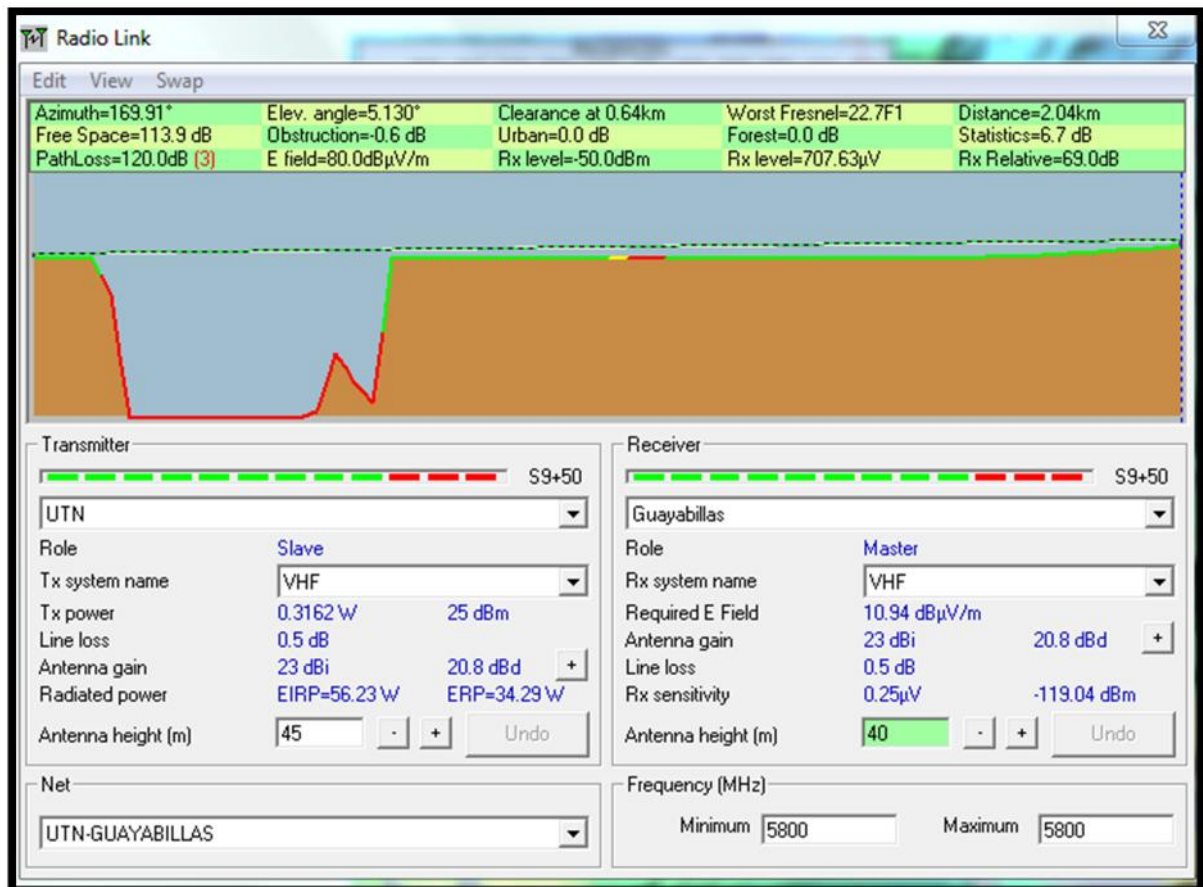


Figura 40. Datos del enlace microonda entre los nodos

Fuente: Software de Radiocomunicaciones Radio Mobile. Elaborado por el Autor.

5.2.4.4.3. Selección del Equipo de radio Microonda

Para la integración fácil y funcional del equipo de radio microondas a la red, se necesita que el equipo de microonda tenga una interfaz Fastethernet de 10/100 [Mbps], y además utilice frecuencia no licenciada, debido a que no representan una inversión muy costosa.

A continuación en la Tabla 6, se presenta tres modelos de radios de distintos fabricantes que soportan los requerimientos mencionados.

Tabla 6. Características de los equipos del enlace microonda

Características	RAD		Ubiquiti		Proxym	
Modelo	Airmux 200		AG-HP-5G23		Tsunami	
Frecuencia de operación [GHz]	2.3, 2.4, 4.9, 5.5, 5.8		5.8		5.3, 5.8	
Potencia de transmisión [dBm]	Mínima	4	Máxima	25	Mínima	10
	Máximo	16			Máximo	17
Potencia umbral de recepción [dBm]	48 [Mbps]	-68	54 [Mbps]	-84	100 [Mbps]	-73
	36 [Mbps]	-74	48 [Mbps]	-86	45 [Mbps]	-79
	18 [Mbps]	-81	36 [Mbps]	-90		
	12 [Mbps]	-84	24 [Mbps]	-97		
			1 [Mbps]	-97		
Ganancia de las antenas [dBi]	22 antena integrada		23		28 antena 2ft	
	28 antena externa				38 antena 6ft	
Alcance [Km]	40 antena integrada		25		No indica	
	80 antena externa					
Velocidad de Datos [Mbps]	Seleccionable		Seleccionable		Fija	
	12, 18, 36, 48		6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54		45, 100	
Interfaz de datos	Ethernet y G.703		Ethernet		Ethernet	
Sistema	IDU-ODU ²¹		Radio con antena externa		IDU-ODU	

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.2.4.4.4. Ganancia del Sistema.

Es la diferencia entre la potencia nominal de salida de un transmisor y la potencia mínima de entrada requerida por un receptor. La ganancia del sistema debe ser igual o mayor a la suma de todas las ganancias y pérdidas incurridas por una señal, conforme se

²¹ En un sistema IDU-ODU, ODU es el equipo de RF que se conecta mediante un cable UTP cat. 5e hacia la IDU para entregar los datos al usuario.

propaga de un transmisor a un receptor. Matemáticamente viene dada por la ecuación 8:

$$G_S = P_{Tx} - P_{Rx} \geq L_p + L_f + L_b + L_{otras} - G_{Tx} - G_{Rx}$$

Ecuación 8. Ganancia del Sistema

Donde:

- G_S : Ganancia del sistema, medida en dB.
- P_{Tx} : Potencia de Transmisión de salida del transmisor, medida en dBm.
- P_{Rx} : Potencia de recepción a la entrada del receptor, medida en dBm.
- L_p : Pérdida de trayectoria en el espacio libre entre antenas, medida en dB.
- L_f : Pérdida del alimentador de guías de ondas entre la red de distribución y su antena respectiva, depende de la frecuencia pero generalmente su valor oscila alrededor de 6 dB por cada 100 m, medida en dB.
- L_b : Pérdida de acoplamiento o ramificación en los circuladores, filtros y redes de distribución entre el equipo de radio y su alimentador, medida en dB. Para diversidad (redundancia) en frecuencia es 4 dB y en espacio es 2 dB.
- L_{otras} : Otras pérdidas son introducidas por repetidores pasivos, sombra, hidrometeoros (lluvia, neblina, humedad, granizo), etc, medidas en dB.
- G_{Tx} : Ganancia de la antena de Transmisión, medida en dBi.
- G_{Rx} : Ganancia de la antena de Recepción, medida en dBi.

5.2.4.4.5. *Pérdida de trayectoria de espacio libre.*

Se define como la pérdida incurrida por una onda electromagnética conforme se propaga en una línea recta a través del vacío sin ninguna absorción o reflexión de energía de objetos cercanos. Para su cálculo se utiliza la Ecuación 9.

$$L_p [dB] = 92.4 + 20 \log f [GHz] + 20 \log D [Km]$$

Ecuación 9. Pérdida de trayectoria de espacio libre

5.2.4.4.6. Confiabilidad del enlace.

Indica el grado de disponibilidad de un radio enlace, considerando un margen de desvanecimiento, que es un factor de corrección que considera las características no ideales y menos predecibles de la propagación de ondas de radio, como la propagación multitrayectoria y sensibilidad a superficies rocosas. Su valor numérico se obtiene con la ecuación 10.

$$R[\%] = 100 * (1 - 6 * 10^{-7} * A * B * D^3 * f * 10^{\frac{F_m}{10}})$$

Ecuación 10. Confiabilidad del Enlace

Donde:

R: Confiabilidad del enlace, expresada en %.

D: Distancia, medida en km.

f : Frecuencia, medida en GHz.

A: Factor de Rugosidad.

A = 4 sobre agua o un terreno muy parejo.

A = 1 sobre un terreno normal.

A = 0.25 sobre un terreno montañoso muy disperejo.

B: Factor para convertir una probabilidad del peor mes a una probabilidad anual.

B = 0.5 para áreas calientes y húmedas.

B = 0.25 para áreas normales tierra adentro

$B = 0.125$ para áreas montañosas o muy secas.

F_m : Margen de desvanecimiento, medido en [dB]. Se calcula con la ecuación 11.

$$F_m = P_{Rx} - P_{Rxmin}$$

Ecuación 11. Cálculo del Margen de Desvanecimiento

Donde:

P_{Rx} : Potencia de recepción a la entrada del receptor, medida en dBm.

P_{Rxmin} : Potencia de Recepción mínima a la entrada del receptor, medida en dBm.

De acuerdo a los datos correspondientes del equipo Ubiquiti presentados en la Tabla 6 y de las expresiones anteriores, en la Tabla 7, se muestra el resultado obtenido del cálculo del enlace, donde se presenta factores importantes como la potencia recibida y la disponibilidad del enlace y las características del equipo a utilizar están en el ANEXO 4.

Tabla 7. Resumen de Datos obtenidos en el cálculo del enlace de microondas

RESUMEN DEL CÁLCULO DEL ENLACE	UTN	LOMA DE GUAYABILLAS
Elevación m	2211	2351
Latitud	0°21'28.77" N	0°20'23.62" N
Longitud	78°06'39.04" W	78°06'27.45" W
Azimut	169.91°	
Modelo del Equipo	Ubiquiti	Ubiquiti
Tipo de Antena	Arreglo	Arreglo Dipolos

Dipolos		
Altura de Antena m	40.00	45.00
Ganancia de Antena dBi	23.00	23.00
Tipo de Línea de TX	UTP	UTP
Longitud de Línea de TX m	0.20	0.20
Frecuencia GHz	5.8	
Longitud de la Trayectoria km	2.04	
Tipo de Diversidad	Espacio	
Pérdida de Espacio Libre dB	113.9	
Perdida por Acoplamiento dB	2	
Pérdida Neta en Trayectoria dB	120.00	
Potencia de Transmisión dBm	25.00	
Criterio de Umbral de Recepción	BER 1 E-8	
Nivel de Umbral dBm	-84.0	
Nivel de Señal RX dBm	-50.02	
Margen de Desvanecimiento Db	34.0	
Confiabilidad Anual %	99.995	

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.2.4.4.7. *Resultados de cálculo del enlace de Radio Frecuencia*

Los resultados obtenidos en la Tabla 7 muestran que la potencia en la entrada del receptor (-50.02 dBm) no supera el nivel de umbral de recepción (-84.0 dBm), obteniendo un margen de desvanecimiento de 34.0 dB, que permite brindar al enlace, una confiabilidad de 99.995%, que junto con el trazado del perfil topográfico de la Figura 38, indican que el enlace de radio microonda es factible desde el punto de vista técnico para las condiciones señaladas.

5.2.4.5. *Diseño Del Software*

El lenguaje a utilizar en las placas de Arduino es C, siendo programadas en el programa IDE propietario de Arduino que está basado en Processing. La programación para obtener los datos se la guarda en los Arduino FIO, así como la programación para enviar los datos al nodo central, en cambio en la programación del nodo central está el recibir información de nodos sensores y enviarla a internet

5.2.4.5.1. *Diagramas de flujo*

A continuación, en la Figura 41, se muestran los diagramas de flujo de los nodos sensores y del nodo central donde se detalla la forma de trabajo y recolección de la información de los sensores y entre nodos.

El programa detallado se lo muestra en el ANEXO 2.

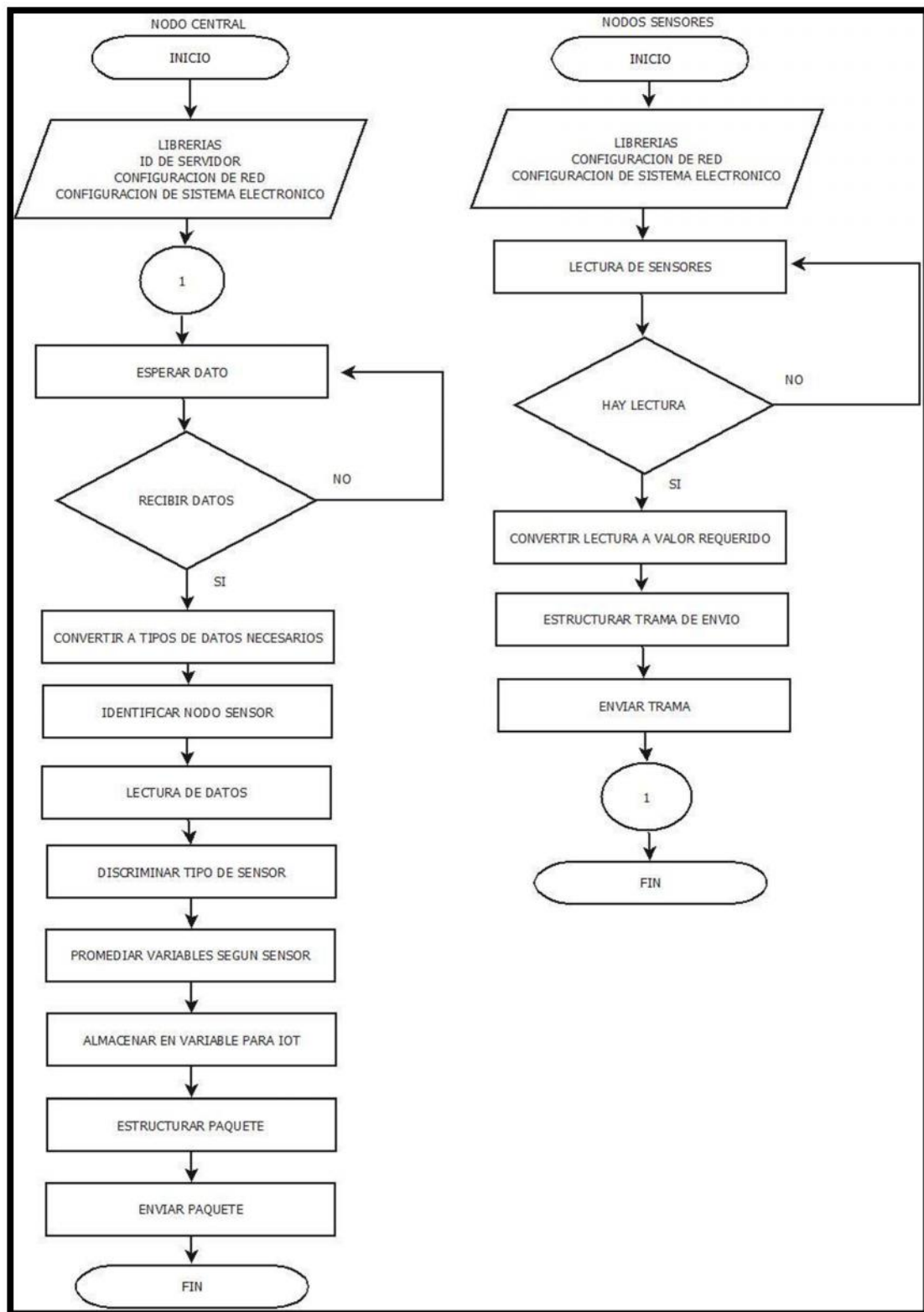


Figura 41. Diagramas de Flujo de funcionamiento del programa

Fuente: Elaborado por el Autor.

Para el desarrollo del software requerido para los microcontroladores para que realicen su trabajo se realiza previamente diagramas de flujo en donde se describe los procesos los cuales deben cumplir cada CPU de cada nodo.

De igual forma para el segundo proceso se toma en cuenta a raíz de los datos recibidos por la comunicación serial pero para este proceso las alarmas son remotas, es decir para la conexión con los servidores en la Internet, los códigos, tanto del Nodo Central como de los Nodos Sensores se encuentran en el ANEXO 1.

5.2.4.6. *Uso de la PaaS*

El objetivo de usar una plataforma como servicio en la nube es el tener información en tiempo real sobre la Internet y se pueda acceder a estos datos desde cualquier lugar que tenga conexión a la misma, es decir, es una interfaz para el administrador del sistema de monitoreo.

Para la elección de la plataforma como servicio para el monitoreo del sistema y se propone la plataforma Ubidots, que está orientada básicamente a generar proyectos sobre lo que es Internet de las Cosas, tener datos de sensores en tiempo real y dar una interfaz de usuario fácil y entendible.

Por otra parte no se necesita confirmación por medio de correo electrónico para la utilización de la misma, además de que para ambientes de producción se maneja una versión Enterprise que posee un costo mensual que depende del número de variables (sensores) a manejar, que da mejoradas características de trabajo.

5.2.4.6.1. *Interfaz de monitoreo.*

Para tratar sobre la interfaz del usuario en donde se podrá observar los valores obtenidos de la red de sensores como se dijo anteriormente se eligió como alternativa a la plataforma Ubidots.

5.2.4.6.2. *UBIDOTS*

Ubidots, en la Figura 42, es un sitio gratuito el cual permiten administrar datos y otros dispositivos en tiempo real, también permite visualizar datos enviados desde algún dispositivo, como por ejemplo en este caso es el Arduino YUN, que es el Gateway de la red WSN, la creación de la cuenta en Ubidots se muestra en el ANEXO 2.

Entre las ventajas de utilizar esta plataforma se encuentran:

- Facilidad de creación de cuentas sin la necesidad de solicitar activación o permisos por medio de correos electrónicos de acuerdo a la aplicación que se vaya a desarrollar.
- No tiene costo la creación de la cuenta.
- Es compatible con Arduino.



Figura 42. Logo Ubidots

Fuente: www.ubidots.com Obtenida de:
http://ubidots.com/docs/es/get_started/introduccion.html

Ubidots empodera a entusiastas de la tecnología y emprendedores a construir nuevos productos y aplicaciones a partir de objetos conectados a Internet. Desde una taza de café inteligente que registre la cafeína que te tomas al día y te llame al celular cuando excedas cierto nivel, hasta una nevera industrial que reporte su temperatura e inventario en tiempo real, a través de Internet, Ubidots permite crear aplicaciones para el “Internet of Things” en cuestión de semanas, no en meses, demandando el más mínimo conocimiento técnico. (Peláez, 2013)

La facilidad de programación que brindan las diferentes plataformas de hardware actuales, invitan a pensar en una gran cantidad de posibilidades. Por ejemplo, gracias a un dispositivo como el Arduino, es posible medir variables del entorno tales como temperatura, aceleración, posicionamiento, nivel de luz, e incluso cualquier otro sensor que se quiera conectar a través de sus puertos análogos.

El desarrollo de éste tipo de proyectos que leen información del ambiente a través de sensores se conoce como el “Internet de las Cosas” y es una tendencia tecnológica que promete crear una nueva era de aplicaciones que revolucionarán la forma en que vivimos. Tal como lo indica Agustín Peláez (Peláez, 2013), las redes sociales en la

década del 2000, o las aplicaciones móviles en la presente década, el Internet de las Cosas es una oportunidad para crear innovadoras soluciones en diversos sectores como el comercio, la energía, el transporte, la manufactura, el agro e incluso el hogar.

Para un completo desarrollo de éste nuevo tipo de aplicaciones, se debe trabajar en tres diferentes niveles: la electrónica, las comunicaciones y el software, tal y como se muestra en la Figura 43.

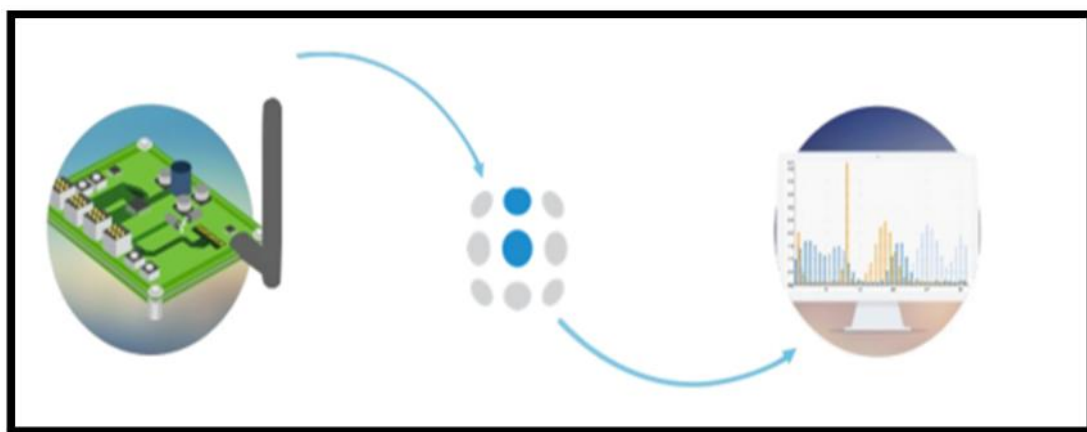


Figura 43. Funcionamiento Ubidots

Fuente: www.ubidots.com Obtenida de: http://ubidots.com/docs/es/get_started/introduccion.html

5.2.5. Proceso de envío de los Datos de los Sensores

Para la comunicación con los Zigbee y puedan ser una topología árbol donde se utilizará una trama dedicada ya que el firmware de Zigbee es restrictivo y no permite modificaciones para poder realizar una comunicación con altos contenidos de datos. Los nodos principales cuentan con una tabla aprendida de comunicación y así pueden realizar saltos de comunicación, tal y como se muestra a continuación en la Figura 44.

IDEN. NODO	IDEN. CLIENTE	ALERTA	BATERIA	# DE SENSORES	DATOS	IDEN. NODO	IDEN. NODO
A-Z	A-Z	0-1	00	1-3	2-6	A-Z	A-Z

Figura 44. Tama de Datos a enviar por los Nodos Sensores al Nodo Central

Fuente: Elaborado por el Autor.

El identificador de nodo son las letras de la A a la Z, existen identificadores establecidos como nodo central, si un nodo recibe una información que no es para la solo la reenvía por el mismo canal al siguiente.

El identificador de cliente permite conocer el usuario receptor del mensaje

El campo de alerta es el indicado de informar si existió en algún sensor un cambio brusco de estado y envía la bandera de peligro, cabe recalcar que los datos para el monitoreo son enviados en diferentes espacios de tiempo para no saturar el canal, en este caso al no contar con demasiados nodos con sensores se toma en cuenta que enviarán aleatoriamente en múltiplos de 1 minuto los datos en un intervalo de 60 minutos, el nodo principal encargado de la comunicación con el internet enviará los datos a partir de los 90 minutos, si existe la bandera de alerta encendida el sistema no espera el tiempo aleatorio, envía en ese momento la información para ser publicada en la nube.

El campo de batería indica el nivel de la batería, se cuenta con 4 estados: EXCELENTE, BUENO, MALO, CRÍTICO. El sistema reconoce el nivel y dependiendo determina el tiempo aleatorio de envío, es decir, si el sistema tiene la lectura CRÍTICO de la batería envía en un mayor lapso de tiempo los datos con su aviso de alerta de batería

para prolongar su tiempo de vida.

El campo de número de sensores permite conocer cuántos valores analógicos se va a recibir, se reciben desde 0 al 99 % de carencia de humedad, CO, y temperatura para ser monitoreados.

Los datos son relacionados al número de sensores, en algunos casos los nodos sensores no cuentan con todos los parámetros de medición por su ubicación y esto cambia la cantidad de datos a ser enviados.

Por cada dato se envía el identificador de nodo para realizar la lectura de una mejor manera.

El dato final a enviar es el identificador de nodo que se verifica al terminar la lectura para conocer la totalidad del mensaje.

El tiempo de 1 minuto se determina por el tiempo de procesamiento de cada nodo, al ser un sistema embebido no cuenta con tanta rapidez, su velocidad de procesamiento es de 8Mhz.

5.2.5.1. *Conexión del sistema a la nube de Ubidots*

Para conectarse con Ubidots es necesario, crear una cuenta en la página web www.ubidots.com, información que se encuentra detallada en el ANEXO #, luego de los cual se procede a utilizar la librería que la misma plataforma brinda, una vez creado el

usuario y la librería compilada en el sistema electrónico es necesario realizar la comunicación, API KEY es el identificador de usuario que permite anclarse a la cuenta.

En configuraciones se observa el API para ser copiada en el sistema, tal y como se muestra en la Figura 45.

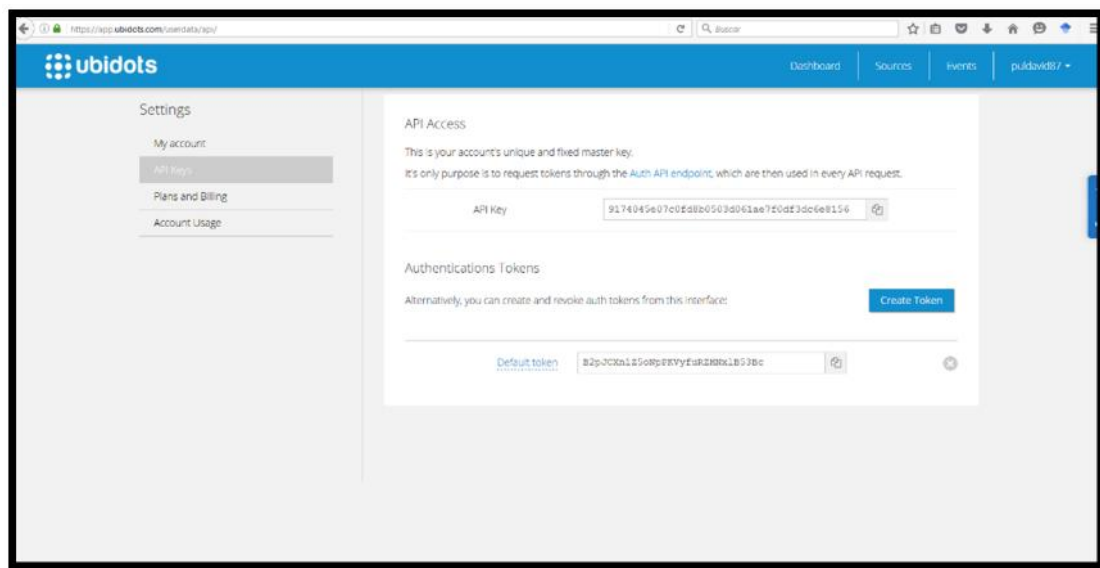


Figura 45. API Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

En la configuración de Ubidots se crea una fuente de datos para recibir la información que llega desde el sistema electrónico, lo que se puede observar en la Figura 46.

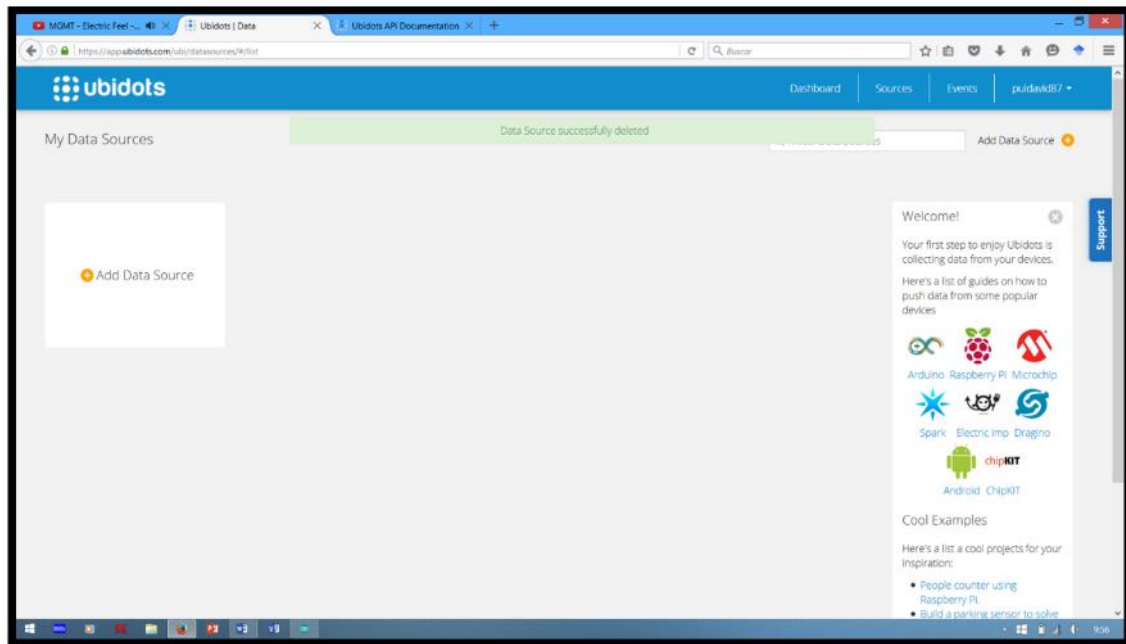


Figura 46. Creación de Fuente de Datos en Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Una vez creada la fuente, como se indica en la Figura 45, de datos se añaden las variables a ser recibidas.

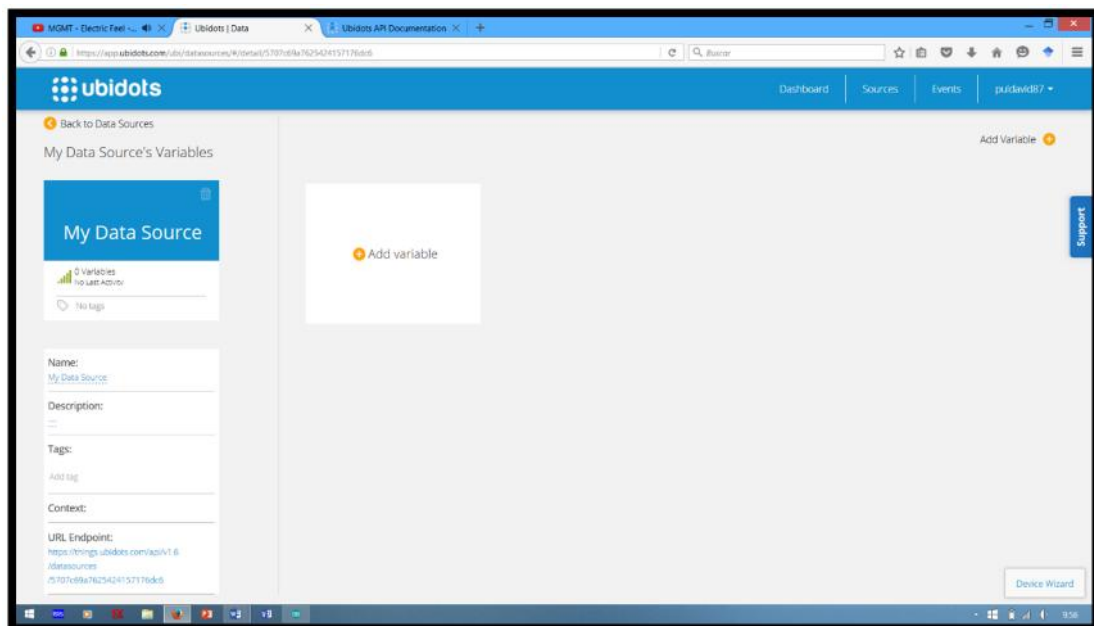


Figura 47. Proceso para añadir variables a recibir en Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Al repositorio de datos se puede cambiar el nombre y la descripción de uso de acuerdo a las necesidades del Usuario, esto sirve en caso de usar la plataforma para otras acciones o mediciones, tal y como se muestra en la Figura 48.

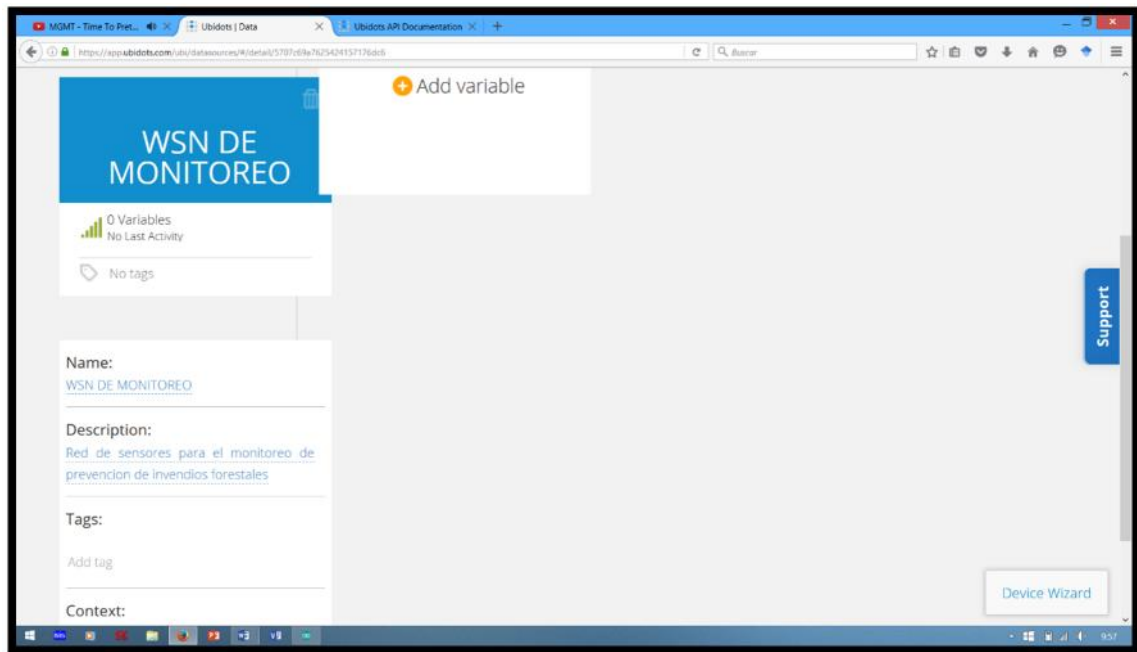


Figura 48. Cambio de nombre y parametrización de descripción de la Plataforma de Monitoreo en Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

En cada repositorio se pueden almacenar variables, como se indica en la Figura 49, estas variables pueden tener ser de diferentes tipos, en este caso se usará variables numéricas para los datos de los diferentes sensores y variables tipo carácter que permita registrar información proveniente de los sensores.

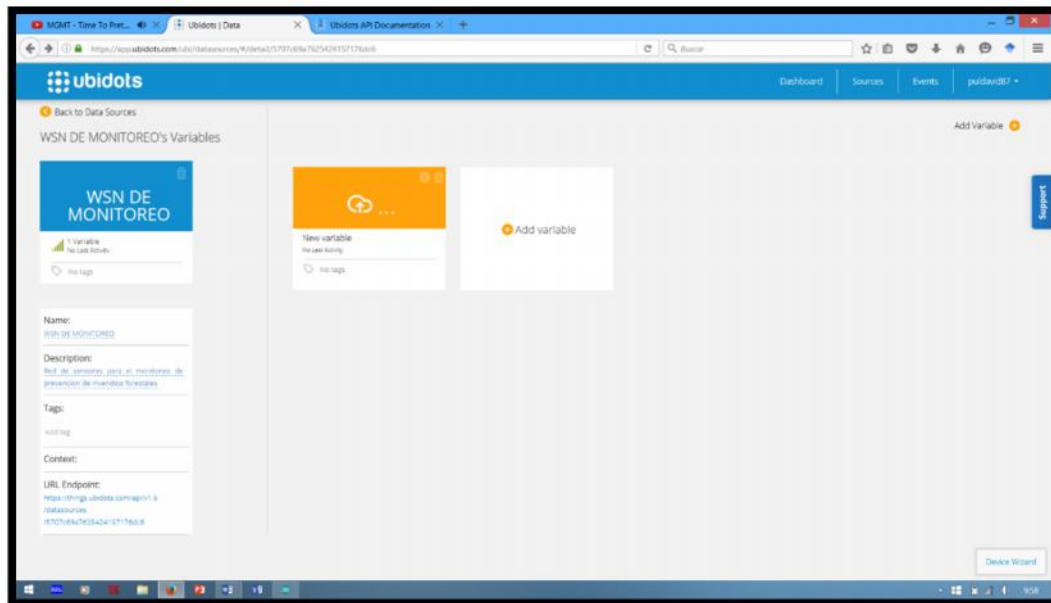


Figura 49. Almacenamiento de Variables en Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Cada variable tiene un ID, que debe ser configurado desde el sistema electrónico que Ubidots debe reconocer para clasificarlo con la variable designada, como se indica en la Figura 50.

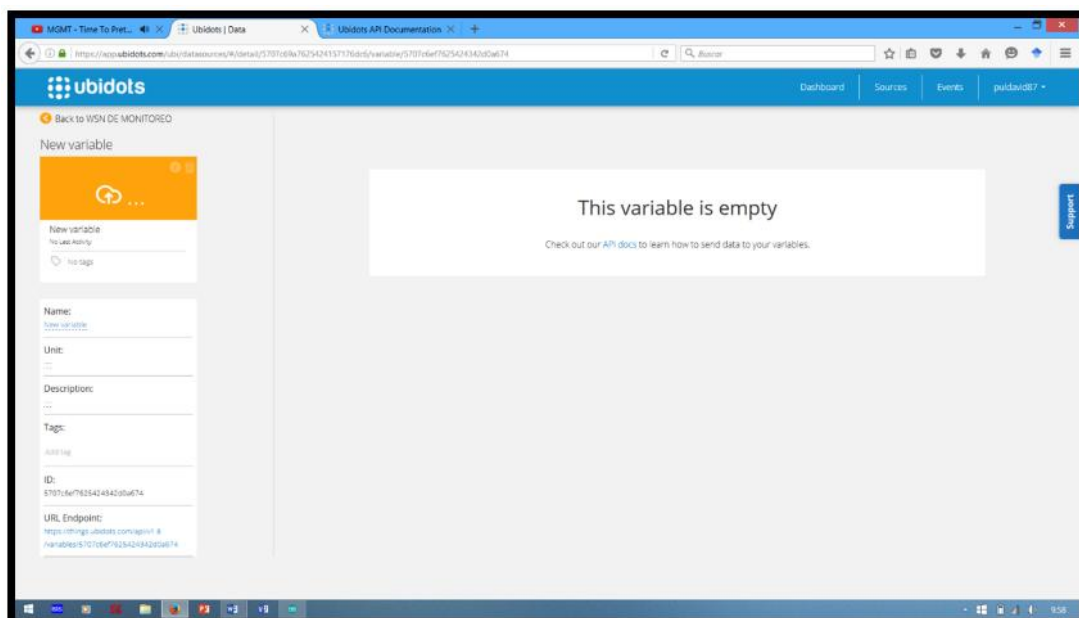


Figura 50. Configuración de ID de Variables en Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Para los sensores elegidos en el sistema a diseñar se procede a la búsqueda de las claves que permitan registrarlos en la Plataforma Ubidots. Las claves para los sensores, luego de lo cual cada lectura por sensor será guardada en el DashBoard como se indica en la Figura 51, son:

- TEMP: 5707c6ef7625424342d0a674
- HUM: 5707c75676254247a8d4acf8
- CO: 5707c79f7625424a0ee39e4e

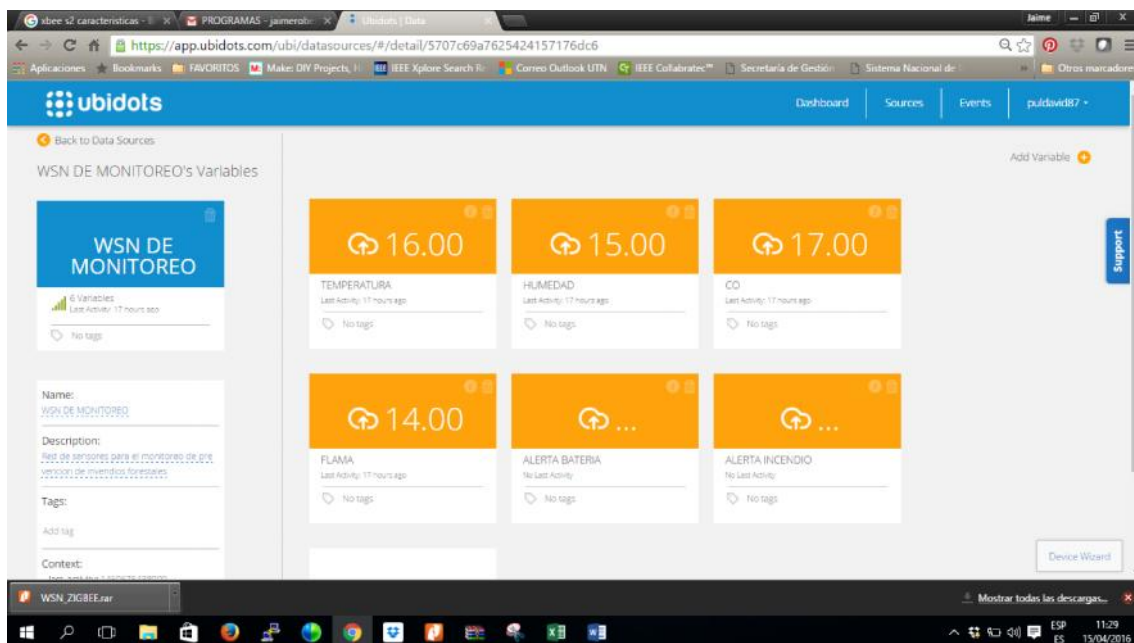


Figura 51. Configuración de Variables en Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

En la Figura 52, se evidencia que una vez creadas las variables se puede realizar el DashBoard para el monitoreo.

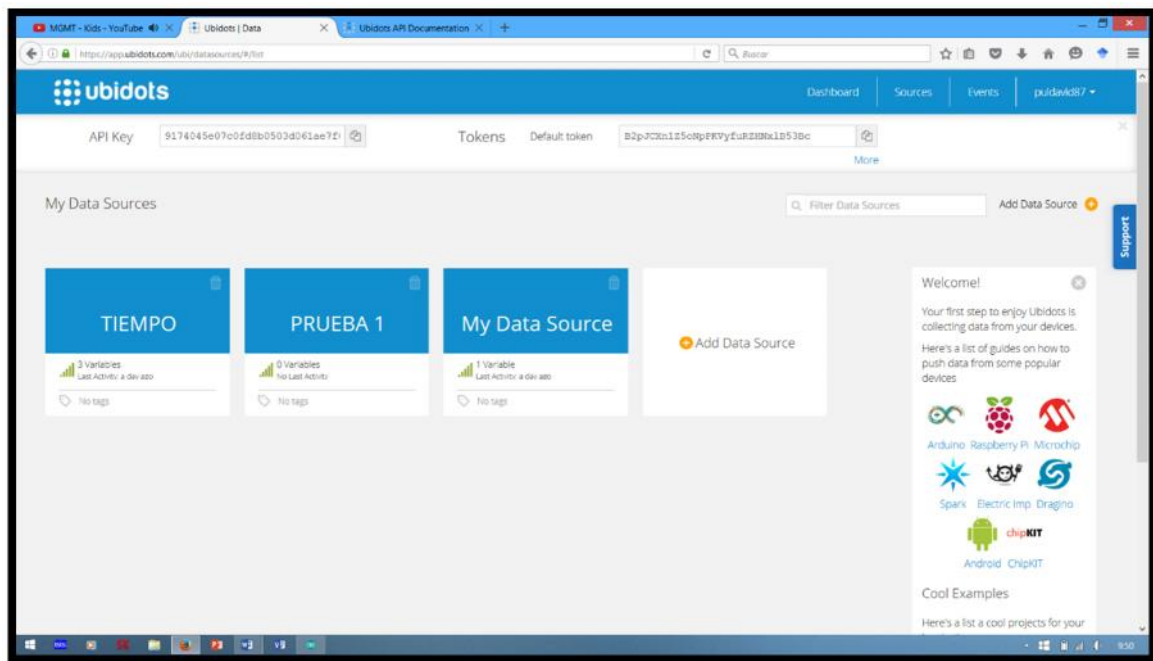


Figura 52. Realización del DashBoard de monitoreo en Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

En la Figura 53, se muestra la Pantalla de visualización de la variación de los datos en la plataforma Ubidots.

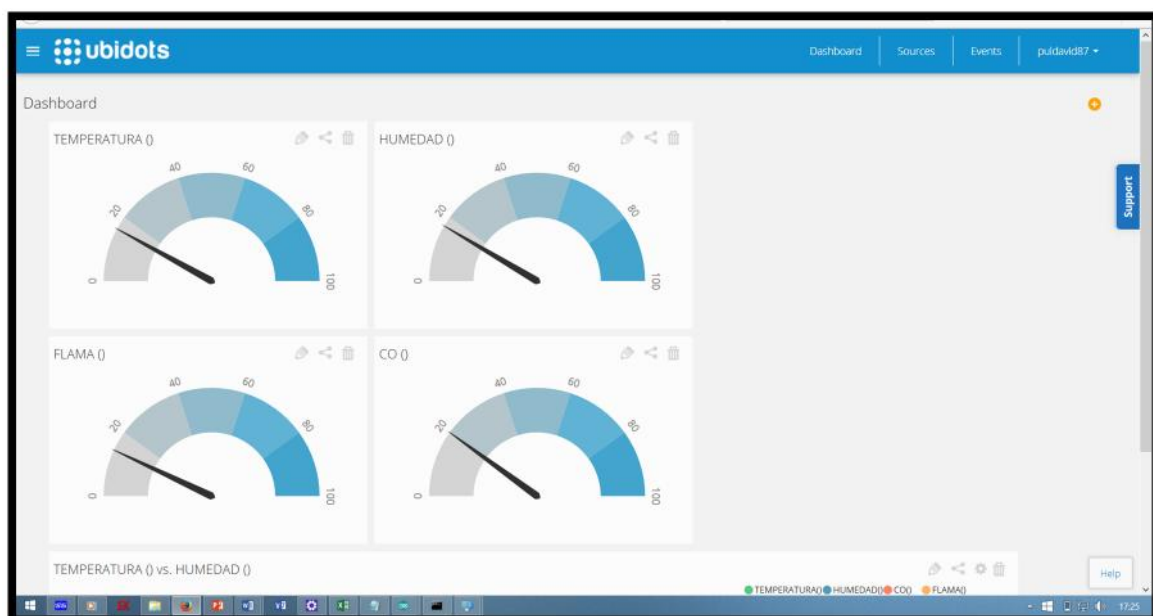


Figura 53. Visualización de la variación de los datos de monitoreo en Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.3. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA

5.3.1. Pruebas de Envío de Tramas para el Nodo Sensor y el Nodo Central

A continuación se muestran las pruebas de funcionamiento que validan el trabajo propuesto, las fotografías de la implementación y armado de los Nodos Sensores y Nodo central se encuentran el ANEXO 3.

5.3.1.1. *Nodos Sensores*

A continuación se muestra el cómo se estructuran y se envían las tramas de datos en los Nodos Sensores para ser enviadas, a cada nodo como condición fundamental se identifica con una letra de la A a la Z, por lo que es necesario tener una Tabla de enrutamiento que permita identificar de que nodo viene la información., como se indica en la Figura 54.

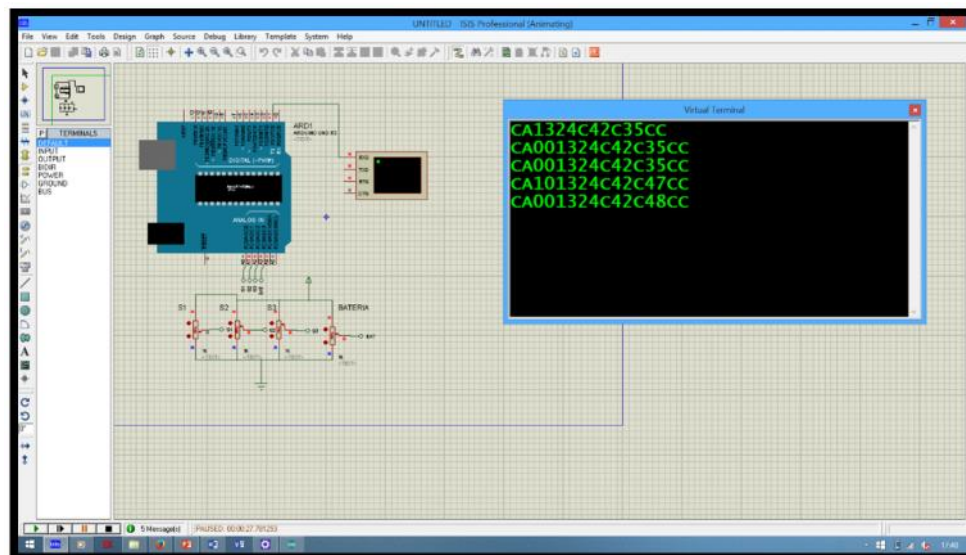


Figura 54. Visualización de Tramas en el Nodo Sensor.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Cuando el nodo recibe un mensaje que no le corresponde solo lo reenvía por el mismo canal, tal y como se indica en la Figura 55.

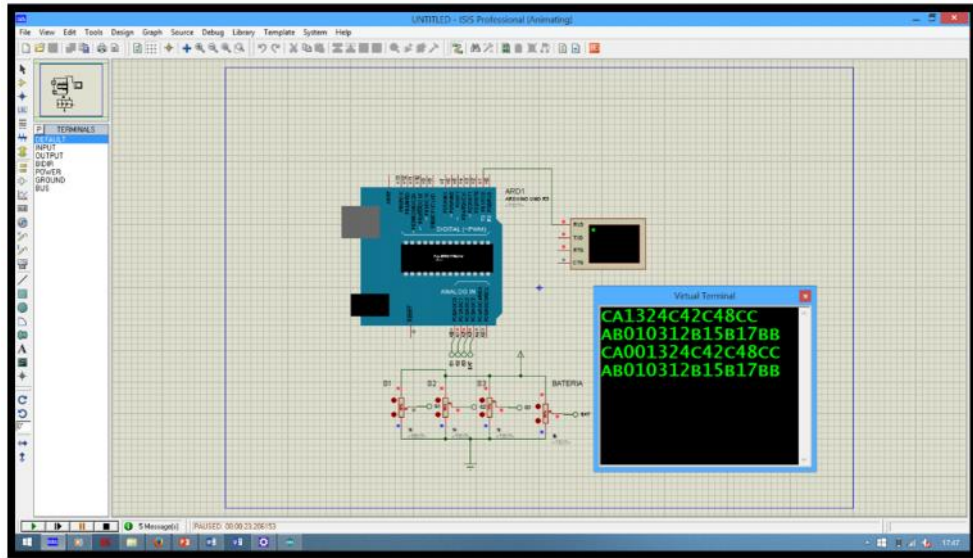


Figura 55. Visualización de reenvío de Datos por el Nodo Sensor.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Cuando se genere una alerta, por criterio de diseño se tendrá una alerta local que puede ser un foco o un zumbador como se indica en la Figura 56.

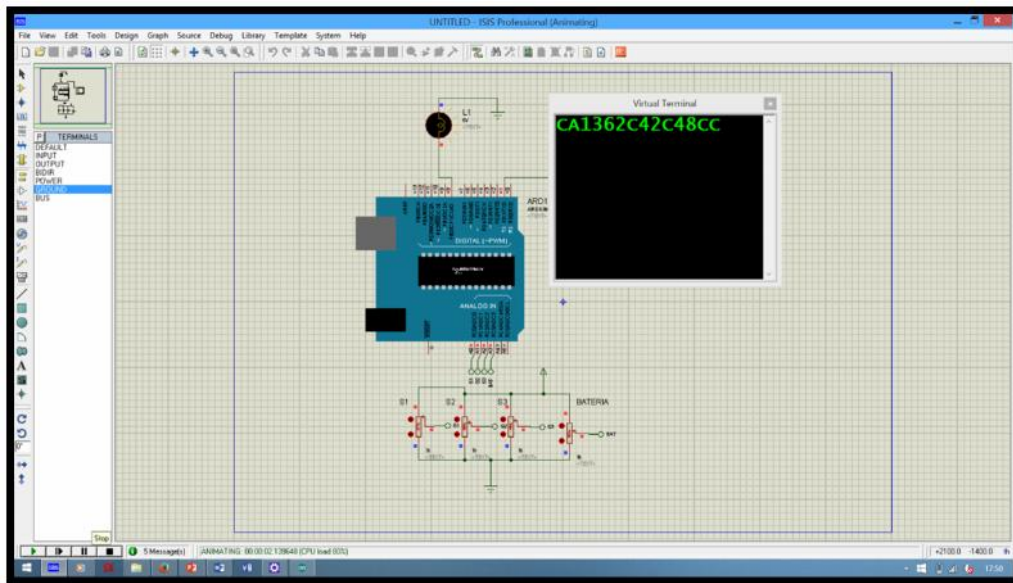


Figura 56. Generación de Alerta Local.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Para la verificación del envío de datos, como se indica en la Figura 57, se realizó puebas desde el puerto COM de un computador para revisar que efectivamente se está realizando el proceso de envío de tramas.

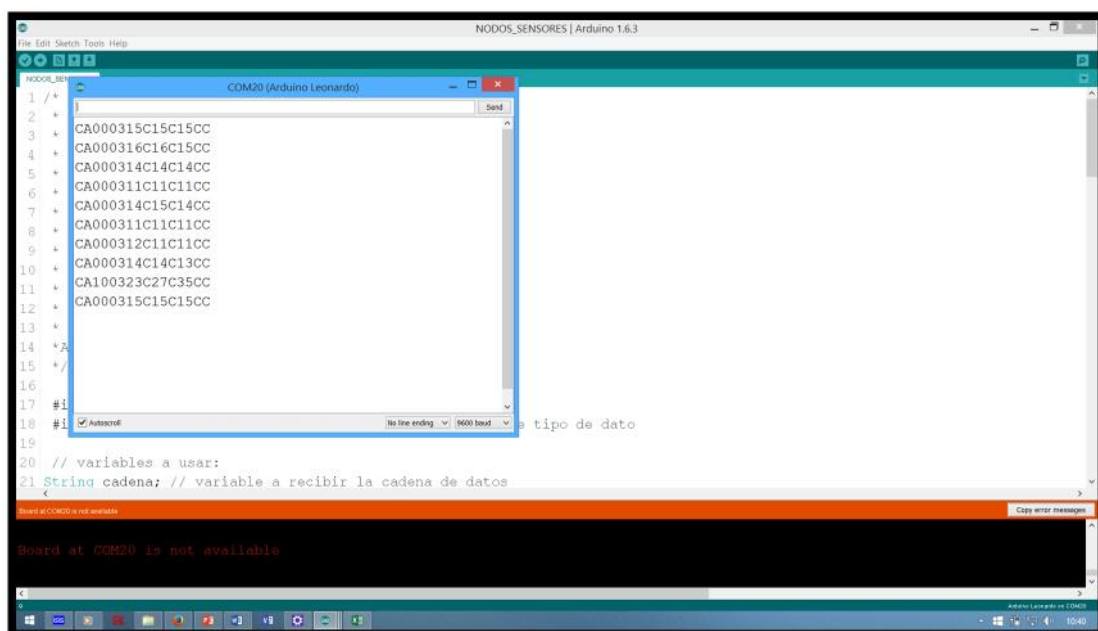


Figura 57. Visualización del envío de Tramas a través del puerto COM del computador que actúa como servidor.

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.3.1.2. *Nodo Central*

En el nodo receptor, una vez que las tramas son enviadas por la red ZigBee es el encargado de hacer el procesamiento por cada espacio del vector, en primer lugar compara el primer campo para determinar que se un transmisor correcto (nodo sensor), luego valida cada usuario ya que esto le permite determinar que variable es la que va a almacenar.

Cada nodo envía 2 datos análogos con un rango de 0 a 64, a continuación se realiza un cálculo de regla de 3 para cambiar su valor a porcentaje de 0% a 100% con respecto al dato que llega, el dato convertido en porcentaje se almacena a la espera de otro dato del mismo tipo, se promedia y se vuelve almacenar.

Además existen banderas de baterías y estado de los nodos sensores, que indican si estos se encuentran en funcionamiento o no para enviar una alerta y procurar una rápida acción, como se muestran en la Figura 58 y la Figura 59.

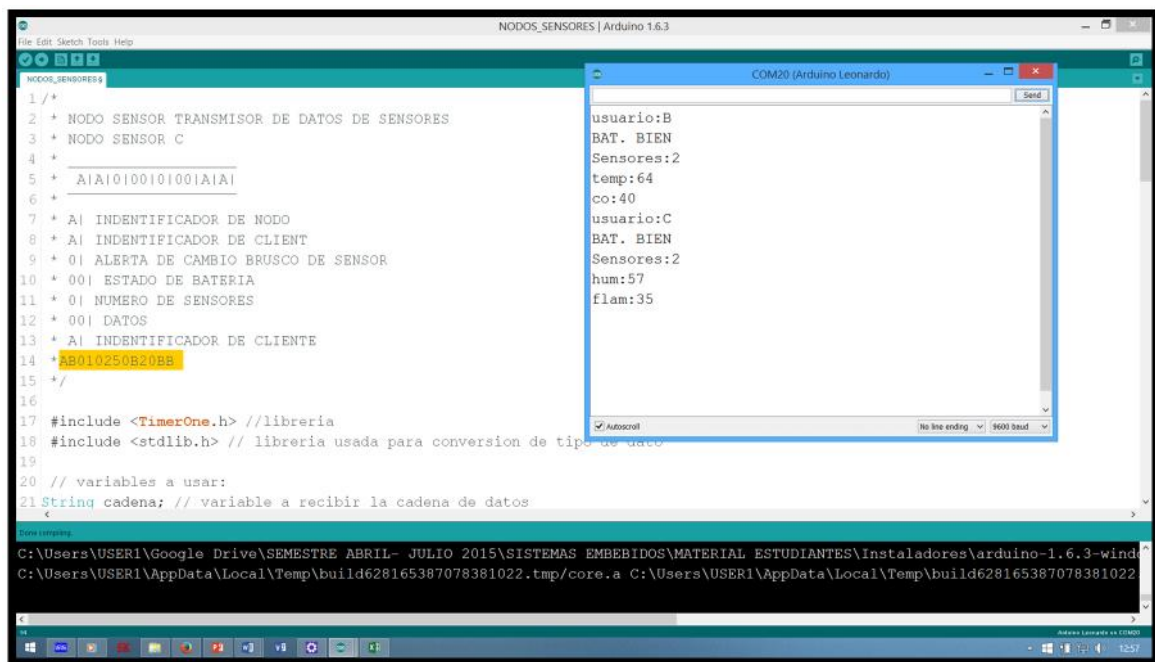


Figura 58. Visualización del identificador de sensor, estado de batería y lectura de los sensores del nodo B.

Fuente: Elaborado por el Autor.

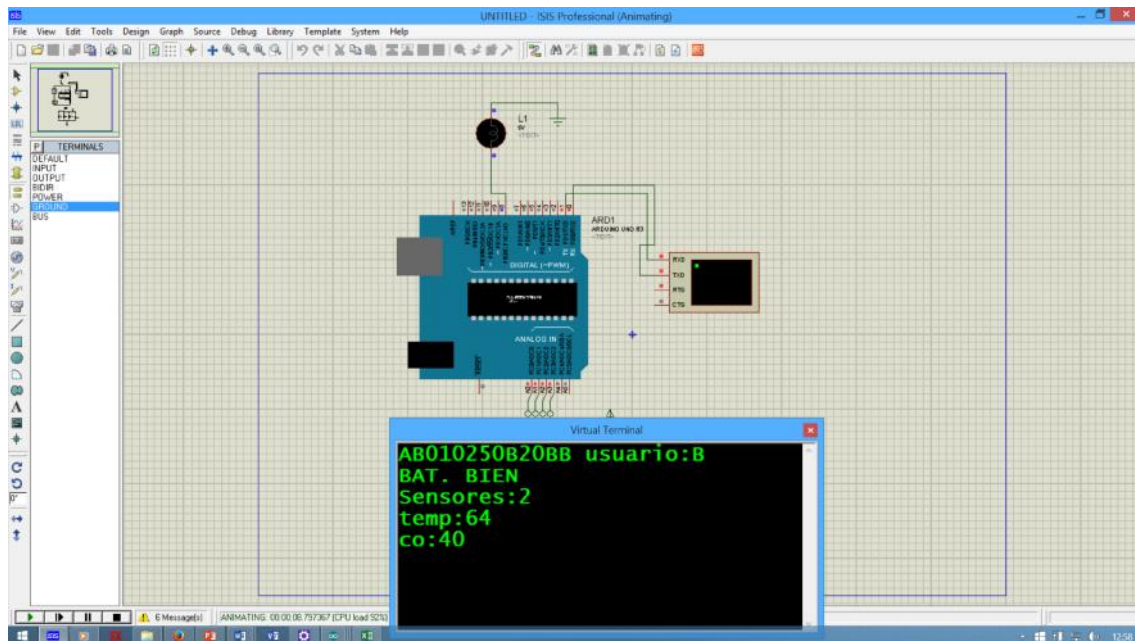


Figura 59. Visualización del identificador de sensor, estado de batería y lectura de los sensores del nodo B vista en el Nodo Central

Fuente: Elaborado por el Autor.

Al existir un cambio brusco de la medida de una variable en un nodo sensor se envía una bandera y como funcionalidad adicional de la Plataforma Ubidots se envía un correo electrónico con un mensaje de alerta para una rápida acción. Cada variable a medir posee indicadores que se guardan y a su vez se visualizan en la plataforma Ubidots, el nodo central almacena cada 2 minutos los datos de todos los nodos sensores que han enviado información para luego proceder al envío de estos a la plataforma.

5.3.1.3. Alertas

5.3.1.3.1. Alertas de Batería en Ubidots

En la Figura 59, se observa la pantalla de parametrización de alarmas en la Plataforma Ubidots, donde se puede establecer los umbrales para las distintas variables a considerar, en este caso el nivel de Batería de los nodos sensores.

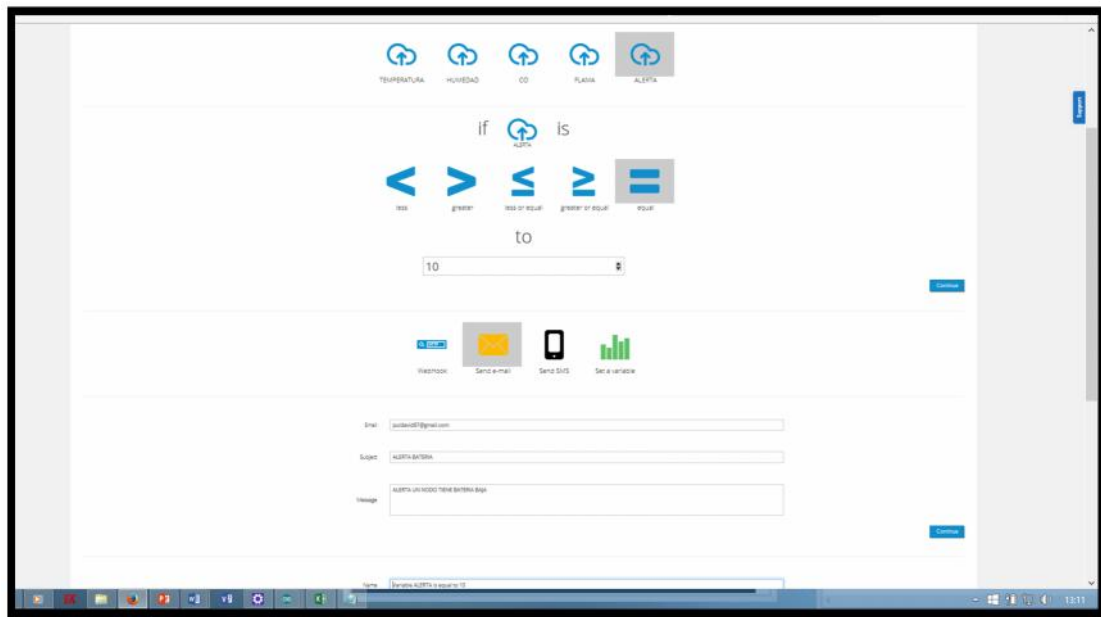


Figura 60. Configuración de Umbrales de alerta para nivel de Batería en la plataforma Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Si en un nodo sensor existe la variación de un parámetro como el nivel de batería o de la temperatura, se genera un mensaje de correo electrónico de aviso de alerta para lo cual se configura un evento en la plataforma Ubidots tal y como se observa en Figura 61.

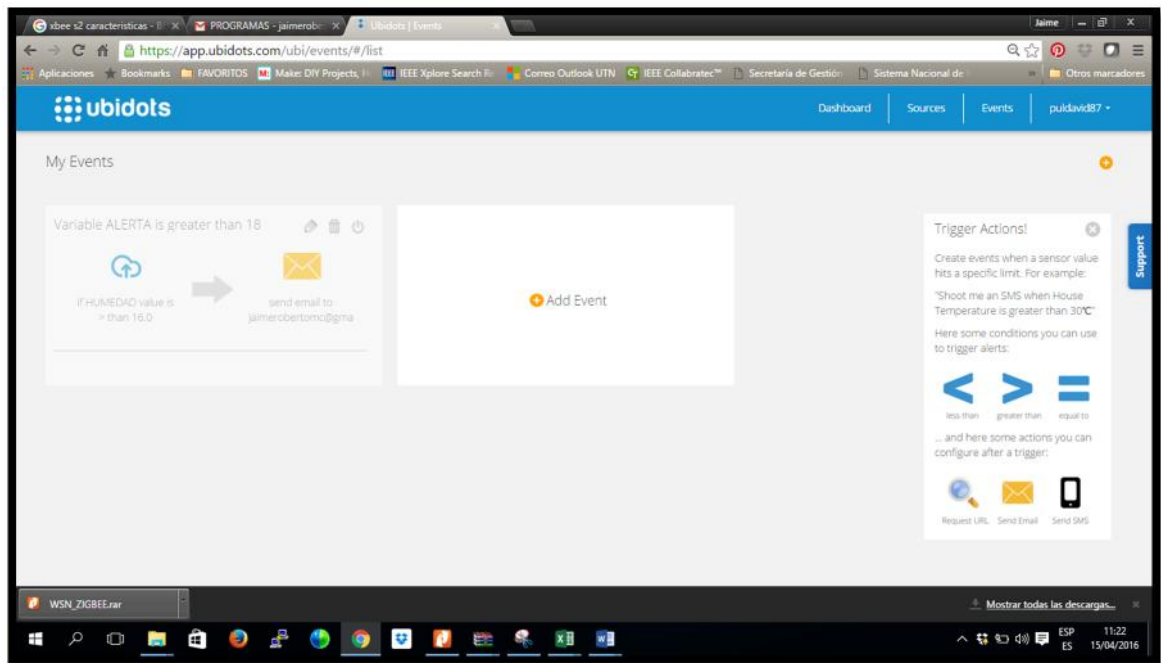


Figura 61. Configuración De Eventos de Alerta en la Plataforma Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

Se envía una alerta con un mensaje a la dirección de correo electrónico configurada en la Plataforma Ubidots, como se indica en la Figura 62.

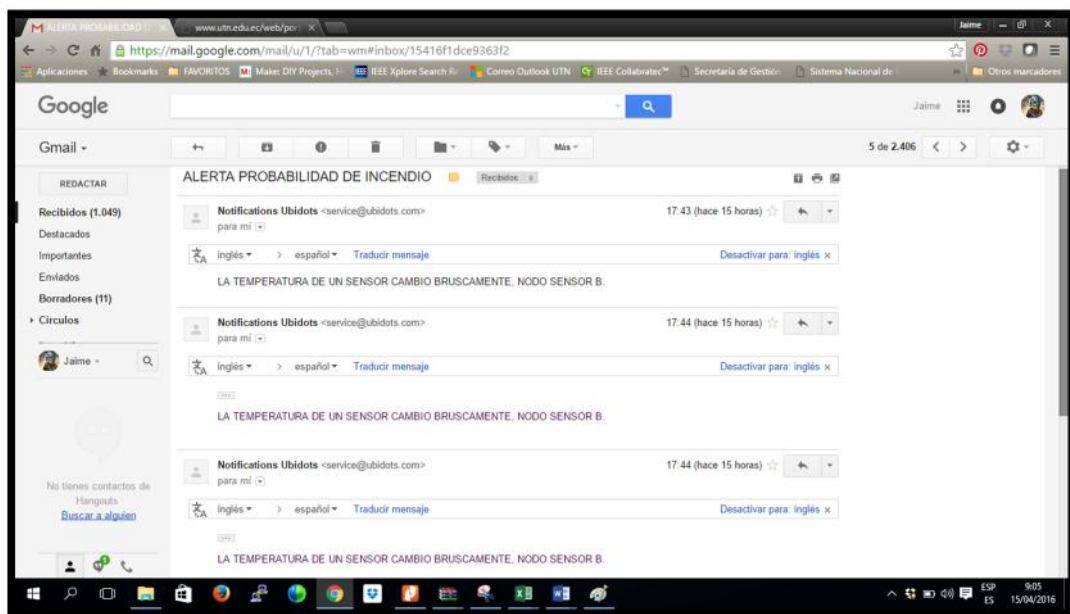


Figura 62. Alerta mediante correo electrónico a la dirección configurada en la Plataforma Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.3.1.4. Envío de paquetes a la Nube.

En la Figura 63, se indica el envío de datos por servidor HTTP hacia la plataforma Ubidots.

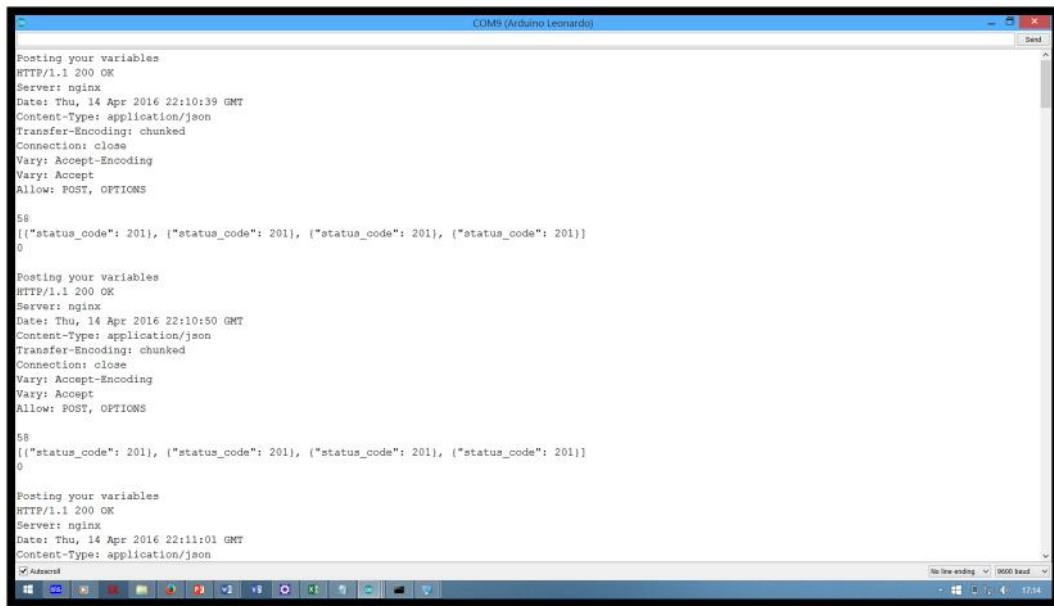


Figura 63. Visualización del envío de Datos utilizando el protocolo HTTP a la Plataforma Ubidots.

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.3.1.5. Almacenamiento de datos en la nube

Parte fundamental del diseño propuesto es que todos los datos que son enviados por el Nodo Central sean almacenados en la Nube para su interpretación y posterior análisis de ser el caso, tal y como se muestra en la Figura 64.

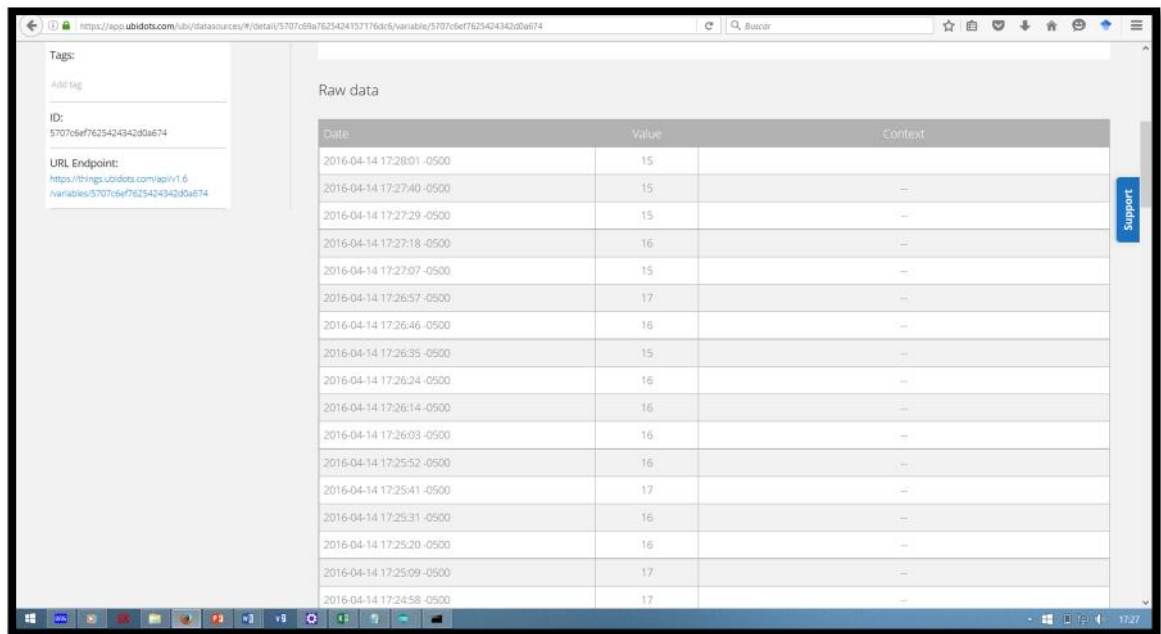


Figura 64. Almacenamiento de los datos enviados por los nodos en la Nube.

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.3.1.6. Visualización de Datos por Sensor

Los datos que son enviados por cada uno de los sensores por cada nodo sensor hacia la plataforma en la Nube a través del nodo central, a continuación se muestra la visualización de cada una de las variables en Ubidots.

La visualización de los datos del Sensor de temperatura se muestra a continuación en la Figura 65.

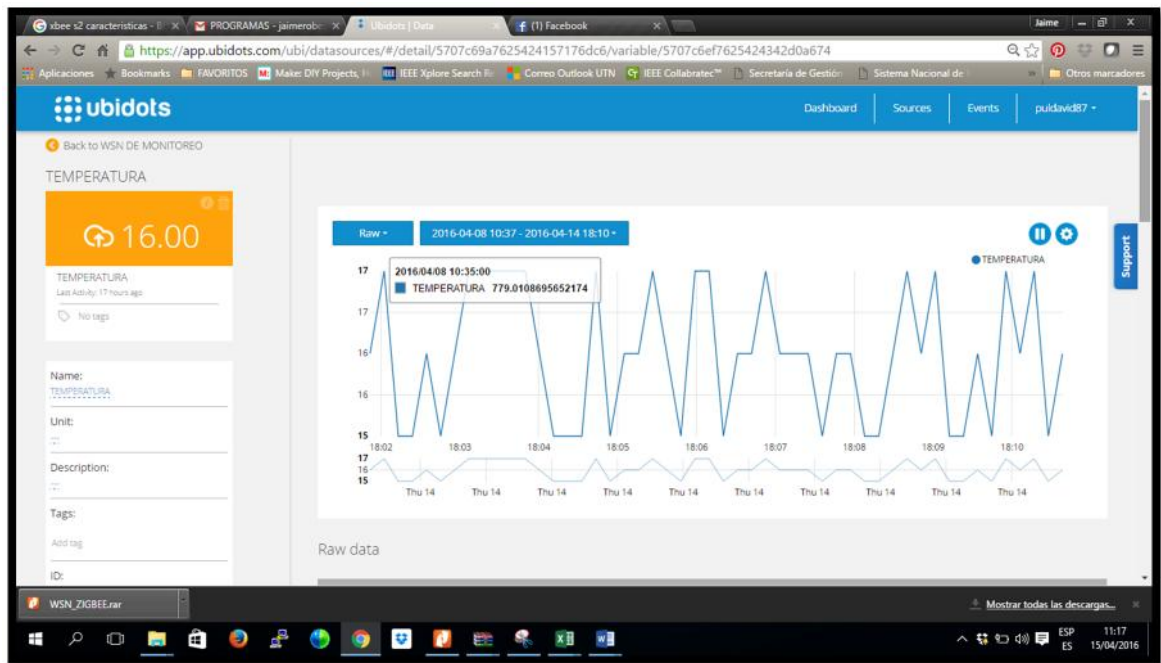


Figura 65. Visualización de Datos del Sensor de Temperatura

Fuente: Elaborado por el Autor.

La visualización de los datos del Sensor de Humedad Relativa se muestra a continuación en la Figura 66.

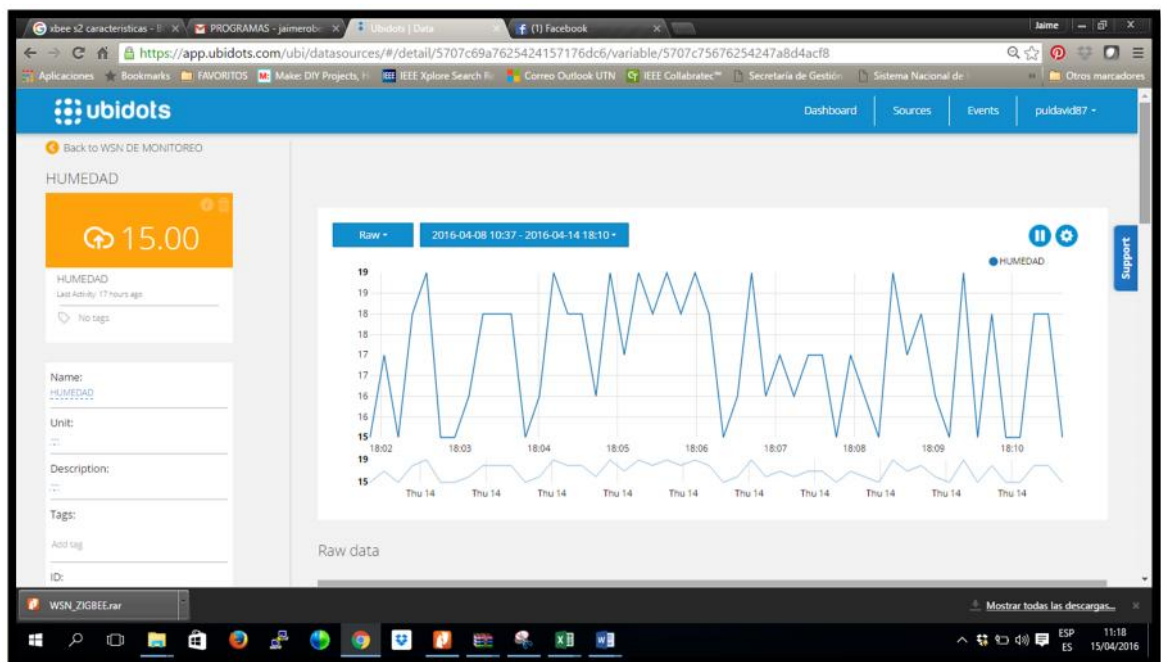


Figura 66. Visualización de los datos del sensor de Humedad Relativa.

Fuente: Elaborado por el Autor.

La visualización de los datos del Sensor de CO se muestra a continuación en la Figura 67.

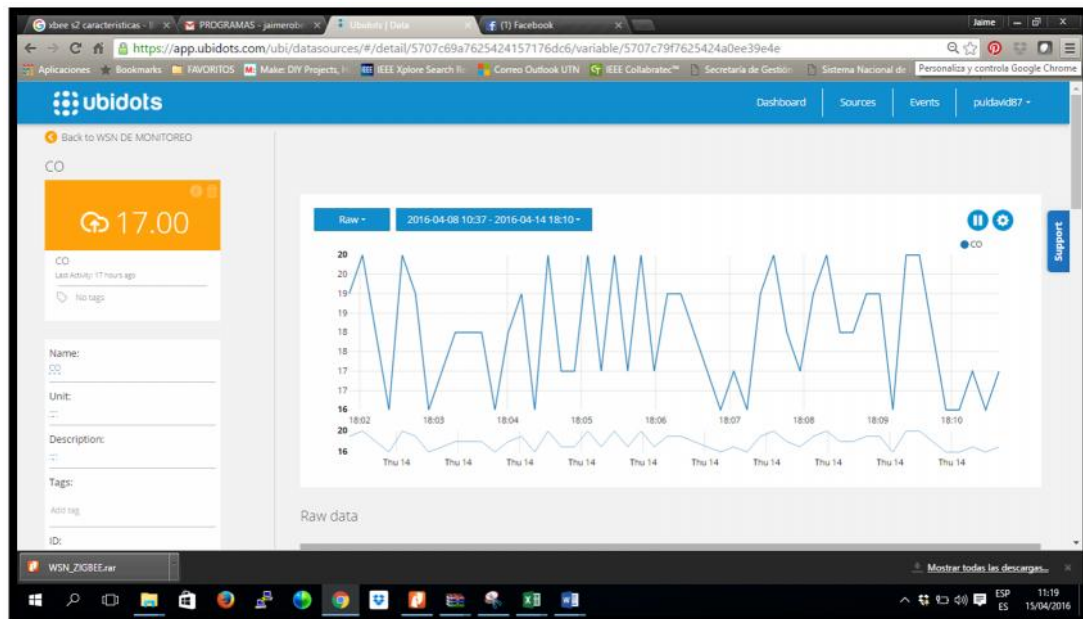


Figura 67. Visualización de los datos del sensor de CO

Fuente: Elaborado por el Autor.

La visualización de los datos del Sensor de CO se muestra en la Figura 68.

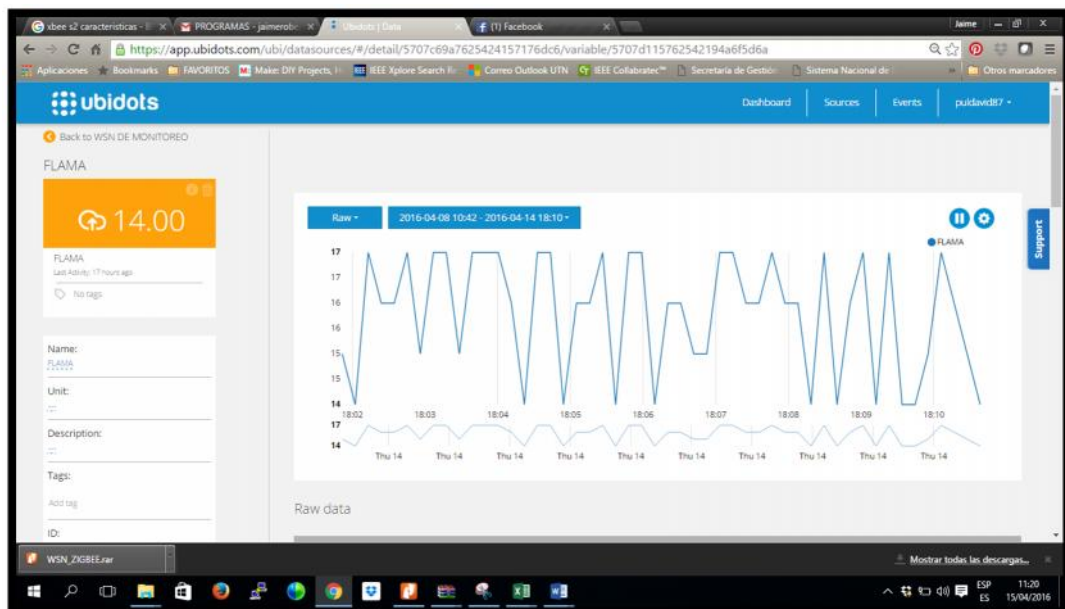


Figura 68. Almacenamiento de los datos enviados por los nodos en la Nube.

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.4. Análisis Costo Beneficio de la propuesta.

El análisis de factibilidad de un proyecto es importante para determinar su viabilidad y rentabilidad desde un punto de vista económico y social, este análisis se lo realiza en base a los costos de inversión y los beneficios que se obtendrán luego de implementar esta iniciativa.

A continuación se presenta el desarrollo del mismo en primer lugar considerando los gastos asociados a la implementación del prototipo del sistema e infiriendo los gastos de colocarlo sobre toda el área del lugar sugerido de implementación que es la Loma de Guayabillas, luego de lo cual se procede a detallar el beneficio del mismo para justificar la viabilidad de la propuesta.

5.4.1. Costos

El costo es la cantidad de inversión que requiere el proyecto, se los ha dividido en tres grupos para su fácil entendimiento, estos grupos se dividen en costos de: equipos, infraestructura, ingeniería y software empleado.

Costo de Elementos que conforman el Sistema de Alerta Temprana de Incendios Forestales.

En costo de equipos se tomará en cuenta todo el hardware que interviene en la WSN, tanto en los nodos sensores y el nodo central, además se toma en cuenta la alternativa de alimentación basada en paneles solares como mecanismo de backup de energía eléctrica además de los costos asociados a la implementación del radioenlace de microonda entre el Bosque Protector Guayabillas y la UTN referenciando costos reales a nivel de consumidor final, de acuerdo al resumen mostrado en la Tabla 6.

Tabla 8. Costo referencial de los equipos utilizados del Sistema de Alerta Temprana

Equipos	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Batería LIPO	3	20	60
Arduino FIU	3	31	93
Arduino YUN	1	90	90
Módulo Xbee S2	4	50	200
Sensor MQ-7	1	18	18
Sensor MQ-2	1	16	16
Sensor Temperatura	2	9	18
Sensor Humedad	1	9	9
Sensor de Flama	1	11	11
Radio Ubiquiti AG-HP-5G23	2	85	170

Panel solar 5W – 18V	3	40	120
Panel solar 5W – 18V	3	40	120
Regulador SCL-10A 12/24V	3	35	105
TOTAL (USD)			910

Fuente: Elaborado por el Autor.

Costo de equipos

Como costos de infraestructura, como se detalla en la Tabla 7 se incluyen el consumo de energía eléctrica por parte del Gateway y enlace inalámbrico, los case de protección de los nodos sensores y el costo de la conexión a la Internet (el consumo eléctrico del Gateway no se contempla porque se tomará de las conexiones en la zona de las áreas de recreación del Bosque Protector Guayabillas y servicio de acceso a la Internet se excluye también debido a que se utilizará la infraestructura de la UTN).

Tabla 9. Costo de Infraestructura

Infraestructura	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Case nodos (central y sensores)	4	10	40
Soportes de madera	3	7	21
Materiales puntos de energía + instalación	1	15	15

Cables y dispositivos complementarios	1	40	40
Consumo del dispositivo	1	0	0
Red Eléctrica EMELNORTE			
Acceso a Internet del dispositivo (Infraestructura UTN)	1	0	0
TOTAL (USD)			116

Fuente: Elaborado por el Autor.

Costo de ingeniería

Los costos de ingeniería se consideran los honorarios aproximados de la persona encargada del diseño del sistema y el estudio de campo, estudio que es valorado de acuerdo a la dificultad de acceso y condiciones climáticas donde se ejecutará el proyecto, además de la elaboración de la documentación respectiva, tal y como se muestra en la Tabla 8 a continuación.

Tabla 10. Costo de ingeniería.

Ingeniería	Cantidad	Precio (USD)	Subtotal (USD)
Estudio de campo, diseño y verificación de infraestructura	1	2000	2000
Documentación	1	250	250
TOTAL (USD)			2250

Fuente: Elaborado por el Autor.

Costo del software empleado

En el análisis del presupuesto de software se tiene como resultado 0.00 USD debido a que los programas que se utilizan son bajo Arquitectura Open Source y acceso libre, pero esto no impide que se detallen en la Tabla 9 a continuación.

Tabla 11. Costo de Software empleado

	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
IDE de Arduino	1	0	0
Proteus (version de prueba)	1	0	0
Ubidots	1	0	0
XCTU (Xbee)	1	0	0
Radio Mobile	1	0	0
TOTAL (USD)			0

Fuente: Elaborado por el Autor.

Resumen del Costo Total

A continuación, en la Tabla 10, se muestra el resumen de costos de inversión del proyecto si fuese el caso de implementar el diseño del sistema de alerta temprana de incendios forestales con un solo grupo de dispositivos (un nodo central y un nodo sensor).

Tabla 12. Costo total de inversión con un grupo de dispositivos.

RESUMEN DE COSTOS	Subtotal (USD)
Costo de Equipos	910
Costo de Ingeniería	2250
Costo de Infraestructura	116
Costo de Software Utilizado	0
TOTAL (USD)	3276

Fuente: Elaborado por el Autor.

Luego de hacer el cálculo del valor total de costo asociado a la implementación de un prototipo se procede a realización del cálculo respectivo considerando que el sistema se va a instalar en toda el área de cobertura de la Loma de Guayabillas, el cual, según la administración del mismo se encuentra dividido en dos zonas en base a su funcionalidad. En la Figura 69 se muestra una vista satelital del Bosque protector Guayabillas, indicando sus linderos e infraestructuras más representativas.

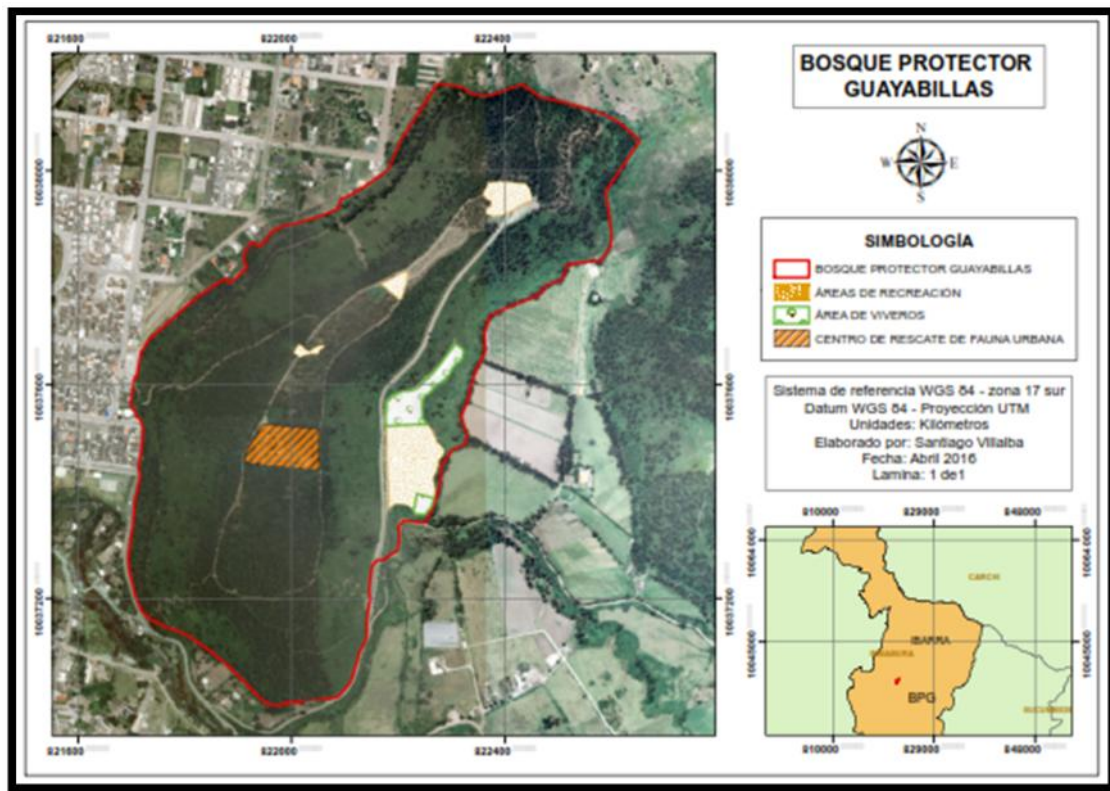


Figura 69. Vista superior Bosque Protector Guayabillas

Fuente: Sistema de Referencia WGS 84 – Zona 17 sur. Año 2016

La Zona 1, que linda con el sector del Río Tahuando y la ciudadela La Victoria que es una zona residencial, es utilizado como parque de esparcimiento familiar y cuenta con senderos para la realización de caminatas y ciclo vías, además cuenta con un sector destinado para la realización de asados y área de esparcimiento común.

Cabe mencionar que esta zona contaba con la presencia de áreas de recreación y el Centro de Interpretación Guayabillas por lo que cuenta con infraestructura de servicios básicos como: agua, canalización y alimentación eléctrica, esta zona es la denominada por la población la Loma de Guayabillas.

Esta zona es la escogida para la implementación del radioenlace de microonda debido a sus características y servicios, el área aproximada de esta zona es de 21 hectáreas.

En este sitio debido a su geografía está prohibido el acceso vehicular además prevalece el hábitat de múltiples variedades de vegetación como: el eucalipto pero existen zonas en las que permanece la vegetación nativa del sitio con la presencia de arbustos como guayabilla, cholán, sauco, algarrobo, entre otros. Existen manchones de vegetación en los que se encuentran al cedro andino.

Fuente: Archivos GIS, Dirección de Ambiente del GAD Municipal de San Miguel de Ibarra.

144

es de 100 metros, en la práctica se alcanzaron distancias aproximadas de hasta 50 m por lo que la cobertura de un módulo central y tres módulos sensores se puede considerar que abarcan un área de cobertura de aproximadamente 1 hectárea, de acuerdo a los cálculos realizados como se muestra a continuación en la Figura 71.

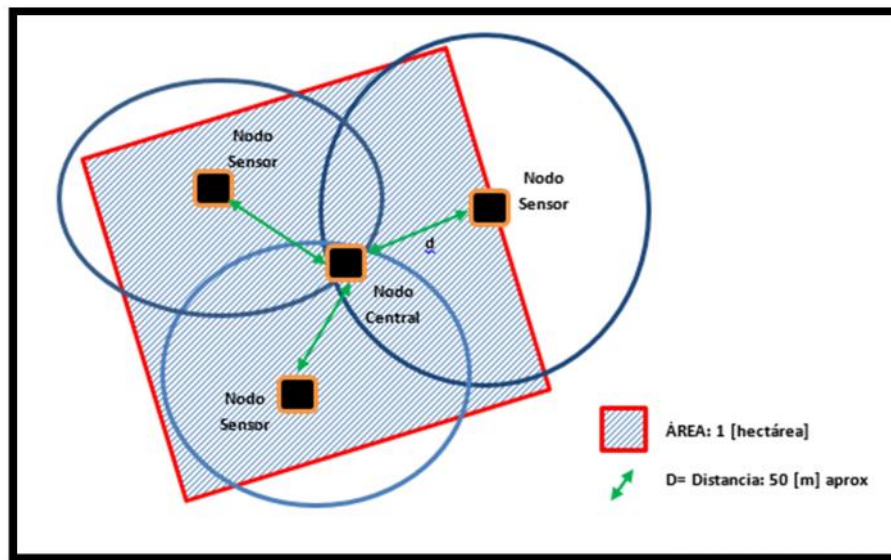


Figura 71. Diagrama aproximado de cobertura de un grupo de sensores conformado por un nodo central y tres nodos sensores.

Fuente: Elaborado por el Autor.

En base a esta consideración y como se explicó anteriormente, el proyecto está enfocado a la zona 1 del Bosque Protector Guayabillas se puede hacer el cálculo de cuantos grupos de sensores se necesitan para cubrir el área en cuestión.

En primer lugar se toma en cuenta una distancia de enlace de aproximadamente 50 m según los datos de las pruebas de campo realizadas (las distancias obtenidas varían entre los 45 y 64 metros de alcance máximo), debido a que en la Zona 1 la vegetación es básicamente arbustos y tiene un perfil topográfico no irregular.

Luego, se procede a definir un valor de contención de cobertura debido a las variaciones ambientales y posibles inconvenientes durante la operación del sistema, el valor escogido es 0,5, lo que indica que considera una cobertura por sensor del 50 % y se tiene un 50% de sobredimensionamiento. A continuación los cálculos correspondientes.

Cálculo del área de Cobertura aproximada de un nodo sensor.

$$\text{Area de Cobertura Nodo Sensor} = \pi d^2$$

$$ACNS = \pi d^2$$

$$ACNS = \pi \times (50^2)m^2 \approx 7.850m^2$$

Cálculo de área de Cobertura de un grupo de sensores.

$$\text{Área de Cobertura Grupo de sensores} = 3 \times \text{Área de Cobertura de Nodo Sensor}$$

$$ACGS = 3 \times ACNS$$

$$ACGS = 3 \times 7.850m^2$$

$$ACGS = 23.550m^2$$

Utilizando el factor de sobredimensionamiento de 0.5, se calcula el área de intervención y trabajo de un Grupo de Sensores ya en ambientes de producción.

Cálculo del área de cobertura de un grupo de sensores.

Área de cobertura de Nodo Sensor con factor de corrección = $FC \times ACNS$

$$AFC = 0.5 \times 23.550m^2$$

$$AFC = 11.775m^2$$

Dónde: FC es el factor de sobredimensionamiento de 0.5

ACNS es el área de cobertura del nodo sensor.

Este cálculo demuestra que aunque se utilice un factor de corrección o sobredimensionamiento, el área de cobertura del grupo de sensores (un grupo se encuentra conformado por un nodo central y tres nodos sensores que cubren un área de cobertura aproximada de 11,781 m²), supera al área que representa 1 hectárea, que es una medida agraria de superficie, equivalente a cien áreas o a un hectómetro cuadrado o 10.000m².

A continuación se procede a calcular el número de grupos de sensores para la Zona elegida de cobertura, que es la Zona 1 de 21 Hectáreas.

Cálculo del número de grupos de sensores a utilizar en el despliegue en la Zona 1

$$N \text{ Grupos de Sensores} = \frac{\text{Area Total Zona 1}}{\text{Area de cobertura aprox. grupo de sensores}}$$

$$N \text{ Grupos de Sensores} = \frac{21 [\text{hectáreas}]}{1 [\text{hectárea}]}$$

$$N \text{ Grupos de Sensores} = 21 \text{ Grupos}$$

Donde N: es el número de grupos de sensores a instalar en la Zona 1 del Bosque Protector Guayabillas, en la Figura 72 se indica el perfil del Bosque Protector Guayabillas dividido en hectáreas.

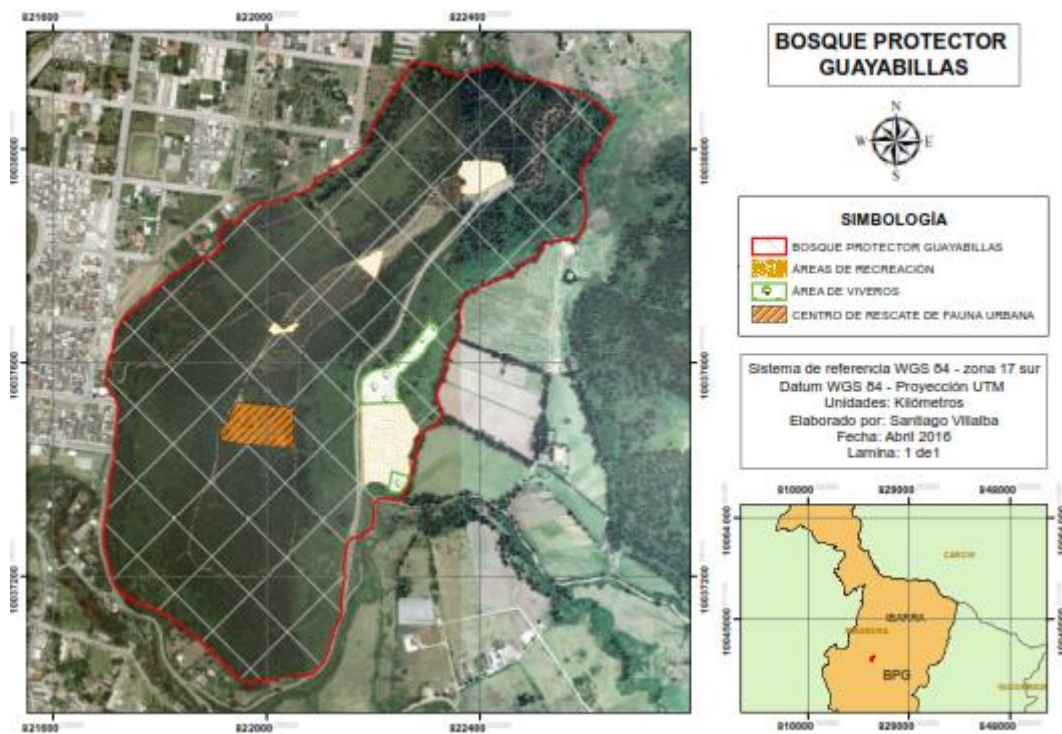


Figura 72. Imagen Satelital Bosque Protector Guayabillas dividida en hectáreas.

Fuente: Sistema de Referencia WGS 84 – Zona 17 sur. Año 2016

El costo de operación de estos 21 nodos se lo puede observar en la Tabla 11, donde se resume el costo total de la implementación, cabe aclarar que se utiliza únicamente un enlace de microonda debido a la configuración tipo árbol de la WSN y el diseño con su

respectiva documentación se debe cobrar una sola vez, por lo que el valor de a considerar como costo del grupo de sensores es:

Cálculo del costo del grupo de sensores sin considerar el enlace de microonda, el diseño y documentación.

$$\text{Costo Grupo de sensores} = \text{Costo de Equipamiento} - \text{Diseño} - \text{Enlace}$$

$$\text{Costo Grupo de sensores} = (3276 - 170 - 2250)\text{USD}$$

$$\text{Costo Grupo de Sensores} = 856 \text{ USD}$$

A continuación, en la Tabla 11 se indica el resumen de costos de implementación del Sistema en la Zona 1 del Bosque Protector Guayabillas.

Tabla 13. Costo total de Implementación del Proyecto

	Cantidad	Precio Unitario (USD)	Subtotal (USD)
Grupo de Sensores	21	856	17976
Enlace Microonda	1	170	170
Diseño y Documentación	1	2250	2250
TOTAL			20396

Fuente: Elaborado por el Autor.

5.4.2. Beneficio

El beneficio en términos económicos se entendería como ingresos monetarios directos que produciría el proyecto como tal, pero en este caso se interpretara a los beneficios en términos relacionales entre lo económico, social y ambiental, puesto que el proyecto influirá directamente en la actuación de los organismos de socorro frente a un incendio forestal, entre los costos asociados a esto se pueden manifestar: árboles y vegetación destruida, superficie de terreno quemada, costos de movilización de equipos de intervención, posibles estructuras de vivienda y servicios dañadas, problemas de salud asociados con la alta emisión de gases, posibles heridas de los miembros de socorro y comunidad aledaña y posteriormente al flagelo los costos que conlleva la recuperación de la zona afectada y demás costos asociados al despliegue.

De acuerdo a datos de la Secretaría de Ambiente de la Alcaldía de Quito (Ambiente, 2016), De acuerdo con los datos recopilados, durante los incendios en el verano 2015, se ocasionaron daños en 3102,11 hectáreas forestales del Distrito Metropolitano de Quito, valorados en aproximadamente USD 34'834.307,20 dólares.

Así también por el incendio en el Antisana del pasado 9 de febrero se han visto afectadas varias hectáreas además de especies de flora y fauna de la zona.

Es por esto que la campaña, que se desarrolla hasta mayo del 2016, busca el aporte de la ciudadanía en general para unir fuerzas dentro del proceso de recuperación de la cobertura vegetal en el Distrito.

Se estima, como se observa en la Tabla 12 que el tiempo de recuperación de la cobertura vegetal afectada por los incendios, dependiendo de las condiciones climáticas, el tipo de vegetación y el grado de afectación, sería:

Tabla 14. Tiempo de recuperación de cobertura vegetal afectada por incendios

Estructura de la Vegetación	Tiempo de Recuperación
Pastos Naturales	Anual
Cultivos	Anual
Herbazales secos	De 1 a 2 años
Herbazales húmedos	De 1 a 2 años
Arbustos secos	De 3 a 5 años
Arbustos húmedos	De 3 a 5 años
Plantaciones	De 5 a 10
Bosque secundario	De 5 a 10
Bosque seco	Más de 10 años
Bosque húmedo	Más de 10 años

Fuente: Secretaría de Ambiente de la Alcaldía de Quito. Obtenida de:
<http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/noticias/201-387-mil-arboles-se-han-reforestado-en-quito-con-el-apoyo-de-empresas-privadas-y-organizaciones-publicas>

Estos datos permiten inferir los costos asociados que, según Antonio Armero Cáceres (2014), a la hora de hacer el recuento de gastos, se tienen en cuenta

fundamentalmente tres factores: el personal movilizado y sus horas de trabajo, la maquinaria utilizada y el tiempo que estuvo operativa, y por último, los medios aéreos y los minutos que permanecieron en el aire.

A partir de ahí se obtienen los gastos de extinción, que habitualmente son elevados. Si no se encuentra alguien a quien achacar el fuego, la cuenta la pagará la administración. Pero si se detiene al incendiario o al pirómano y se demuestra su culpabilidad, tiene muchas posibilidades de tener que pagar él la factura final. (Armero, 2014)

Lo que realizando una valorización por hectárea afectada y el tiempo que esta demora en recuperarse, además de las distintas acciones que pueden tomar los gobiernos seccionales para recuperar el área afectada es de aproximadamente (Ambiente, 2016):

Cálculo del Costo de Recuperación por hectárea quemada.

$$\text{Costo de Recuperación por Hectárea quemada} = \frac{\text{Costo total de Recuperación [USD]}}{\text{área afectada [has]}}$$

$$\text{Costo de Recuperación por Hectárea quemada} = \frac{34'834.307.20 \text{ [USD]}}{3.102.11 \text{ [has]}} = \frac{11230 \text{ [USD]}}{[has]}$$

El costo total de implementación, como se muestra en la Tabla 11, es de 20,396 USD, el cual se procede a relacionar con el costo por hectárea quemada, de donde se observa que el costo de implementar la solución propuesta es comparable con el costo de recuperar 2 hectáreas de bosque incendiado.

Cálculo del costo de recuperación de 2 hectáreas quemadas.

$$\text{Costo de Recuperación de 2 hectáreas quemadas} = 11,230 \left[\frac{\text{USD}}{\text{ha}} \right] \times 2 [\text{has}]$$

$$\text{Costo de Recuperación de 2 hectáreas quemadas} = 22,460 [\text{USD}]$$

Por lo que concluimos que en base a todos los resultados obtenidos el Sistema de Alerta Temprana de Incendios Forestales es factible y beneficioso solventar la implementación del mismo si ese fuese el caso.

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Se implementó el Sistema de Alerta Temprana para Incendios Forestales, prototipo que permite utilizar la tecnología para dar solución a un problema ambiental, social y económico no solo presente en la localidad de estudio, mejorando la capacidad de actuación ante un incendio forestal, haciendo que los organismos encargados del control de áreas forestales cuenten con un mecanismo de actuación preventivo.
- El uso de redes inalámbricas de sensores en términos de monitoreo no solo tienen impacto en la agricultura, sino también en ámbitos industriales, médicos, ambientales, etc. Ya que sus ventajas en bajo consumo de energía, escalabilidad, alimentación por paneles solares, hacen de estas redes una alternativa ecológica, lo que representa un menor impacto ambiental y costo accesible al momento de elegir las como solución.
- Las herramientas de hardware que intervienen en el diseño del proyecto son orientadas a entornos libres, permitiendo una configuración y montaje flexible al momento de satisfacer los requerimientos del diseño y cumplir con los objetivos del proyecto.

- Las Redes de Sensores Inalámbricas son una opción de fácil proceso de instalación y a bajo costo que garantiza la adhesión o eliminación de nodos sin causar problemas a la red y movilidad de los mismos en la zona de cobertura; por lo que ayudan a realizar un levantamiento de información de diferentes puntos mejorando las lecturas planteadas para determinación de parámetros.
- Con el presente proyecto se contribuye de esta manera al Plan Nacional del Buen Vivir, mejorando la calidad de vida de la población, garantizando los derechos de la naturaleza y aportan a una sostenibilidad ambiental territorial y global; así como una participación activa del cambio de la matriz productiva del país.
- El análisis costo beneficio del Sistema de Alerta Temprana para Incendios Forestales muestra que la solución propuesta es una alternativa factible de implementación tomando en cuenta que su costo de instalación y funcionamiento es adecuado en comparación con el gasto que conlleva recuperar un área determinada de un bosque debido a un incendio forestal.

6.2. Recomendaciones

- Identificar adecuadamente el entorno de trabajo para realizar una elección correcta de la tecnología inalámbrica que se adapte a los requerimientos del entorno de red.
- Tener en cuenta todos los datos técnicos de los elementos electrónicos a utilizar que permita un manejo adecuado del sistema evitando posibles daños y garantizando una correcta medición de parámetros.
- |Se recomienda realizar un sistema escalable, que permita aumentar el número de sensores de diferentes parámetros de medición y aumenten y garanticen la recolección de datos mejorando la precisión del sistema.
- Se debe realizar la respectiva calibración de los sensores a utilizar, para que se pueda obtener datos lo más reales y precisos y no existan fallas en la visualización de información. Si se desea plantear la solución con sensores industriales de precisión, se debe considerar la disponibilidad en el medio y el costo que implica comprar e importar.
- Una mejora al sistema es añadir una alerta cuando un sensor deje de funcionar.; Además, se puede mejorar el algoritmo para aumentar la velocidad con la que llegan los datos del nodo más lejano a la central; estas observaciones robustecerían el sistema cuan la red sea grande y la información de un nodo deba “pasar” por varios más para llegar a su destino.

- Considerar que, en lugar de alertar cuando una variable llega a un valor umbral, para dar la alarma también lo haga cuando exista un cambio abrupto en la variable; por ejemplo, dar la alarma cuando la temperatura captada va aumentando, sea cual sea su valor, y no esperar a que necesariamente llegue a sobrepasar un límite establecido.
- Para lograr una optimización de la duración de las baterías, se debe lograr que los nodos sensores permanecen mayor tiempo dormidos, ya que en el proceso de transmisión y recepción de datos es en donde existe un alto consumo de energía.

Glosario de Términos:

ADC: Siglas de Analog Digital Converter, en español Conversor Análogo Digital. Dispositivo electrónico que es capaz de convertir una señal analógica en digital.

Gateway: El término Gateway puede referirse a una puerta de enlace, un nodo en una red informática que sirve de punto de acceso a otra red. Una pasarela, un dispositivo dedicado a intercomunicar sistemas de protocolos incompatibles.

LCD: Siglas de Pantalla de Cristal Líquido, dispositivo electrónico que permite la visualización de elementos alfanuméricos en una pantalla plana.

HTTP: Protocolo para transferir archivos o documentos hipertexto a través de la red. Se basa en una arquitectura cliente/servidor.

IaaS: Infraestructura como servicio en la nube.

IEEE 802.15.4: estándar que define el nivel físico y el control de acceso al medio de redes inalámbricas de área personal con tasas bajas de transmisión de datos

PaaS: Plataforma como servicio en la nube, es un ambiente de cómputo al que se obtiene acceso (según sea necesario) a través de una red de un proveedor de servicios.

TCP/IP: Son las siglas de Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (en inglés *Transmission Control Protocol/Internet Protocol*), Es un conjunto de protocolos de red en los que se basa Internet y que permiten la transmisión de datos entre computadoras.

UART: Transmisor-receptor asincrónico universal, mediante este se puede realizar la comunicación serial entre dispositivos sea PC con alguna placa en particular.

WSN: Wireless Sensor Network (Redes de sensores inalámbricos). Realiza la adquisición y tratamiento de datos con múltiples aplicaciones en distintos campos tales como entornos industriales, domótica, entornos militares, detección ambiental.

Bibliografía:

- Alliance Zigbee. (2015). *The Zigbee Alliance - Control your Wolrd*. Obtenido de <http://www.zigbee.org/>
- Ambiente, S. d. (17 de Febrero de 2016). *Secretaría de Ambiente*. Obtenido de Alcaldía de Quito: <http://www.quitoambiente.gob.ec/ambiente/index.php/noticias/201-387-mil-arboles-se-han-reforestado-en-quito-con-el-apoyo-de-empresas-privadas-y-organizaciones-publicas>
- Antonio Linan Colina, A. V. (2015). *Internet de las Cosas*.
- ARDUINO. (s.f.). *ARDUINO*. Obtenido de Sitio Web de Arduino: <http://arduino.cc/en/guide/introduction>
- Armero, A. (22 de octubre de 2014). *HOY.ES*. Obtenido de El precio de apagar un incendio forestal: <http://www.hoy.es/v/20120819/regional/precio-apagar-incendio-forestal-20120819.html>
- Ashton, K. (2009). *Internet of Things' Thing*. Obtenido de <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- Baddewithana, G., Godigamuwa, G., Gauder, P., & Hapuarachchi, D. (2013). Smart and automated fire and power monitoring system. *8th IEEE International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, 542-547.
- Barneda Faudot, I. (2008). *Zigbee aplicado a la transmision de datos de sensores biomedicos*. Tesis de Pregrado, Universidad Autonoma de Bcelona, Barcelona, España.
- Benchimol, D. (2011). *Microcontroladores: Funcionamiento, programación y usos prácticos. Primera Edición*. Buenos Aires: s: Fox Andina; Dalaga, S.A. .
- Camargo, J. L. (2009). *Modelo de Cobertura para Redes Inalámbricas de Interiores*. Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla, Sevilla,España.
- Cianca, K. (2012). *Topologías de las redes con sensores*. Obtenido de http://lasredesconsensores.blogspot.com/2012_07_01_archive.html
- Comunidad Informatica. (Junio de 2014). *es.ccm.net*. Obtenido de CCM.net: <http://es.ccm.net/contents/818-redes-inalambricas>
- ComunidadInformatica. (Junio de 2014). *CCM.net*. Obtenido de <http://es.ccm.net/contents/817-wlan-lan-inalambrica>

- Consejería de Sanidad y Política Social de la Región de Murcia. (2012). *Murcia Salud*.
Obtenido de Murcia Salud:
<http://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398&idsec=1573>
- Environmental Protection Agency. (2014). *EPA*. Obtenido de EPA:
<http://www.epa.gov/espanol/saludhispana/monoxido.html>
- Evans, D. (Abril de 2011). *The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet*.
Obtenido de
http://www.cisco.com/c/dam/en_us/about/ac79/docs/innov/IoT_IBSG_0411FINAL.pdf
- Faludi, R. (2010). *Building wireless sensor networks: with ZigBee, XBee, arduino, and processing*. . Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.
- Fernandez Barcell, M. (2014). *Página de Manuel Fernandez Barcell*. Obtenido de Página de Manuel Fernandez Barcell: <http://www.mfbarcell.es/conferencias/wsn.pdf>
- Fernández Martínez, R. M. (2009). *Redes inalámbricas de sensores: Teoría y aplicación práctica*. La Rioja: Universidad de la Rioja. Servicio de Publicaciones.
- FuegoLab. (2015). *Oxígeno, calor, vegetación y fuego*. Obtenido de
<http://fuegolab.blogspot.com.es/2013/03/oxigeno-calor-vegetacionyfuego-de.html>
- GADlbarra, G. A. (2016). *Sitios Naturales LOMA DE GUAYABILLAS*. Obtenido de
<http://www.touribarra.gob.ec/esp/index.php/loma-de-guayabillas>
- Gai, C., Weng, W., & Yuan, H. (2011). R GIS-Based Forest Fire Risk Assessment and Map. *Conference on Computational Sciences and Optimization (CSO) 2011 Fourth International IEEE* (págs. 1240-1244). IEEE.
- Glen, M., & Moreno, J. (23 de Mayo de 2012). *Wikispace*. Obtenido de <https://sx-de-tx.wikispaces.com/ZIGBEE>
- Gómez Montenegro, C., Paradells Aspás, J., & Caballero Herrero, J. E. (2010). *Sensor Everywhere*. Catalunya: Fundación Vodafone España.
- Gutierrez, M. J. (10 de Agosto de 2015). *El Androide Libre*. Obtenido de
<http://www.elandroidelibre.com/2015/08/todo-sobre-zigbee-la-tecnologia-ultrabarata-para-comunicacion-inalambrica.html>
- Hernández, J. V. (2010). *TESIS DOCTORAL Redes inalámbricas de sensores: Una nueva arquitectura eficiente y robusta basada en jerarquía dinámica de grupos*. Obtenido de <http://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/8417/tesisUPV3326.pdf>
- Iacono, L., Godoy, P., Marianetti, O., García, C., & Párraga, C. (2012). *Estudio de la Integración entre WSN y redes TCP/IP*. Mendoza.

- Jordi, D. (1993). *Errores frecuentes en las intoxicaciones por monóxido de carbono*. Barcelona: Cruz Roja.
- Kezherashvili, B. (2010). *Computacion en la Nube*. Tesis de Maestria, Universidad de Almería, Almería, España.
- Liu, W., Wang, S., Zhou, Y., & Wang., L. (2010). Analysis of forest potential fire environment based on GIS and RS. *18th International Conference on Geoinformatics*, 1-6.
- Mayné, J. (2011). *Baidu*. Obtenido de <http://wenku.baidu.com/view/a11a02ea19e8b8f67c1cb99b>
- Millán Tejedor, R. J. (2001). El protocolo IPv6 (I). *PC World* n° 174, 5.
- National Instruments. (2009). *National Instruments Lationamerica*. Obtenido de National Instruments Lationamerica: <http://www.ni.com/white-paper/7142/es/>
- OSHA. (2014). *Open Source Hardware Association*. Obtenido de Open Source Hardware Association: <http://www.oshwa.org/definition/spanish/>
- Palet Martínez, J. (05 de 01 de 2004). *s6s*. Obtenido de s6s: <http://www.6sos.org/>
- Pallás, R. (1993). *Adquisición y distribución de señales*. Barcelona: MARCOMBO, S.A.
- Peláez, A. (2013). *El internet de las cosas, la apuesta de Ubidots para facilitar la vida diaria*. Obtenido de COLOMBIA-INN: <http://colombia-inn.com.co/el-internet-de-las-cosas-la-apuesta-de-ubidots-para-facilitar-la-vida-diaria-2/>
- Riesgos, S. N. (2015). *Dirección De Monitoreo De Eventos Adversos Amenaza Incendios Forestales, pp. 1-15*. Quito.
- San Miguel, P. (2009). *Electrónica: Electricidad – Electrónica*. Madrid: Paraninfo, S.A.
- Sandoval, J. (2014). *Teoría de Fuego. Presentación online*. Obtenido de <http://www.slideshare.net/guestb2169cc/teoria-del-fuego>
- SNGR, S. N. (26 de Enero de 2016). *Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos*. Obtenido de <http://www.gestionderiesgos.gob.ec/incendios-forestales/>
- Sowah, R., Ofoli, A., Krakani, S., & Fiawoo, S. (2014). A web-based communication module design of a real-time multi-sensor fire detection and notification system. *IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 1-6.
- Stephen, D., & Hinden, R. (Diciembre de 1998). *FRC es*. Obtenido de <http://www.rfc-es.org>
- Stephen, D., & Hinden, R. (Julio de 1998). *Nomes Internet*. Obtenido de <http://www.normes-internet.com/>

Tecnologías, Servicios Telemáticos y Sistemas, S.A. (2014). *TST IoT M2M Smart City*.
Obtenido de TST IoT M2M Smart City: <http://www.tst-sistemas.es/zigbee/>

Vásconez, F. (2013). *Red inalámbrica de sensores*. Obtenido de
http://blogfabianv.blogspot.com/2013/04/redes-de-sensores-inalambricos-una-gran_24.html

Anexos:

ANEXO 1: CÓDIGO DE PROGRAMA CONFIGURADO EN LOS NODOS SENSORES Y EL NODO CENTRAL

CODIGO NODO CENTRAL

/*

* NODO CENTRAL RECEPTOR DE DATOS DE SENSORES

* NODO CENTRAL A

TRAMA DE LLEGADA

* _____

* A|A|0|00|0|00|A|A|

* -----

* A| INDENTIFICADOR DE NODO

* A| INDENTIFICADOR DE CLIENT

* 0| ALERTA DE CAMBIO BRUSCO DE SENSOR

* 00| ESTADO DE BATERIA

* 0| NUMERO DE SENSORES

* 00| DATOS

* A| INDENTIFICADOR DE CLIENTE

*AB010312B15B17BB

*/

//librerias para de uso

#include <stdlib.h> // libreria usada para conversion de tipo de dato

#include <TimerOne.h> //libreria de timer para envio por tiempos

#include <Ethernet.h> //Libreria para ethernet para comunicacion


```

#include <SPI.h> // comunicacion i2c para sincronismo

#include <UbidotsEthernet.h> // libreria de servidor en la nube


//id de cada variable creada en ubidots

#define ID_temp "5707c6ef7625424342d0a674" //id de temperatura
#define ID_hum "5707c75676254247a8d4acf8" // id de humedad
#define ID_co "5707c79f7625424a0ee39e4e" // id de co
#define ID_flam "5707d115762542194a6f5d6a" //id flama
#define ID_incendio "5710067376254253e8b5b939" // id de incendio

#define TOKEN "OmlUQHP2zUdi7YhLzGrDfWSdiAjN1X" // Put here your Ubidots
TOKEN

Ubidots client(TOKEN); //activacion de cliente


byte mac[] = {

    0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xA7, 0xEE, 0xED // inicio de MAC

};

//parametros de direccion IP FIJA
IPAddress ip(172, 16, 16, 133);
IPAddress myDns(172, 16, 1, 254);
IPAddress gateway(172, 16, 16, 132);
IPAddress subnet(255, 255, 254, 0);

//VARIABLES

int valor_cad1; // Variable de lectura para primer sensor
int valor_cad2; // variable de lectura para segundo sensor
int sen_analog; // comprobacion de numeros de sensores
int promedio=50; // inicio de promedio
int promedio1=50; // inidio de segundo promedio
String cadena; // variable de almacenamiento del string de llegada
int aviso; // aviso de bateria de nodo sensor

```

```

int aviso1; // aviso de incendio en ndo sensor

int i,j; // variables de conteo

int b=6; // variable de conteo en vector para sensores

int usuario; // identificador de nodo sensor

int temp; // variable de almacenamiento de temperatura

int co; // variable de almacenamiento de co

int flam; // variable de almacenamiento de flam

int hum; // variable de almacenamiento de humedad

char buf [14]; // definicion de vector con tamaño de trama

String dato; // conversion de tipo de dato

String bateria; // lectura de estado de bateria

void setup() {

    Serial.begin(9600); // config de cx serial

    Timer1.initialize(1000000); // prescaler a un minuto

    Timer1.attachInterrupt(envio); // subrutina de envio

    Ethernet.begin(mac, ip, myDns, gateway, subnet); // inicio de cx ethernet

    delay(1000);

}

void loop() {

    while(Serial.available()) { // si viene un dato en el puerto

        // es necesario enviar un espacio en blanco al terminar la trama

        cadena = Serial.readString(); // lectura de string

        cadena.toCharArray(buf, 14); // conversion de un string a un vector

        // evaluacion de clinetes segun identificador

        if(buf[0]=='A'){

            // comparacion de usuarios

            switch(buf[1]){

```

```

case 'B':

    Serial.print("usuario:");

    Serial.println(buf[1]);

    usuario =1;

    break;

case 'C':

Serial.print("usuario:");

    Serial.println(buf[1]);

    usuario =2;

    break;

case 'D':

Serial.print("usuario:");

    Serial.println(buf[1]);

    usuario =3;

    break;

}

//aviso de incendio

if(buf[2]=='1')

aviso1=10;


//evaluacion de bateria

bateria= String(buf[3])+String(buf[4]);// union de caracteres a string

//comparacion de bateria de identificador de nodo

if(bateria.equals("00"))

{

    Serial.println("BAT. CRITICO");

    //instruccion de trama para reenvio

    aviso=20;

}

```

```

if(bateria.equals("01"))
{
    Serial.println("BAT. MAL");
    aviso=10;
}
if(bateria.equals("10"))
{
    Serial.println("BAT. BIEN");
}
if(bateria.equals("11"))
{
    Serial.println("BAT. EXCELENTE");
}

//conversion de datos de sensores tipo string a int
dato +=(char)buf[5]; //conversion de char a string
sen_analog=dato.toInt(); // conversion de string a int de # de sensores
Serial.print("Sensores:");
Serial.println(sen_analog);

//ciclo de lectura de datos analogos

//segun usuario identifica el tipo de variables a almacenar
switch(usuario){
    case 1:
        temp=almacenar1();
        co=almacenar2();
        Serial.print("temp:");
        Serial.println(temp);
        Serial.print("co:");
        Serial.println(co);

```

```

break;

case 2:

hum=almacenar1();

flam=almacenar2();

    Serial.print("hum:");

Serial.println(hum);

Serial.print("flam:");

Serial.println(flam);

    ubidots();

break;

case 3:

temp=almacenar1();

co=almacenar2();

    Serial.print("temp:");

Serial.println(temp);

Serial.print("co:");

Serial.println(co);


break;

}

dato="";

}

}

}

//Rutina de recibir dato desde puerto serial para sacar el promedio

int almacenar1 (){

valor_cad1=atoi(&buf[b]);// conversio de 3 caracteres a int

promedio=(promedio+(valor_cad1*100/64))/2;

```

```

b=b+3;//conteo para seleccion de posicion de vector

dato="";

return promedio;

}

//segunda rutina para recibir dato desde puerto serial para sacar promedio
int almacenar2(){

    valor_cad2=atoi(&buf[b]);// conversio de 3 caracteres a int

    promedio1=(promedio1+(valor_cad2*100/64))/2;

    b=6;

    return promedio1;

}


// metodo de envio cada 2 minutos

void envio (){

    //insertar en vector y almacenar en microsd

    j++;

    if(j=120){

        client.add(ID_temp, temp);

        client.add(ID_hum, hum);

        client.add(ID_co, co);

        client.add(ID_flam,flam);

        client.sendAll();

    }

    else

        j=0;

}

```

```

*****

```

CÓDIGO NODOS SENSORES

/*

* NODO SENSOR TRANSMISOR DE DATOS DE SENSORES

* NODO SENSOR C

* _____

* A|A|0|00|0|00|A|A|

* -----

* A| IDENTIFICADOR DE NODO

* A| IDENTIFICADOR DE CLIENT

* 0| ALERTA DE CAMBIO BRUSCO DE SENSOR

* 00| ESTADO DE BATERIA

* 0| NUMERO DE SENSORES

* 00| DATOS

* A| IDENTIFICADOR DE CLIENTE

*AB010250B20BB

*/

#include <TimerOne.h> //libreria

#include <stdlib.h> // libreria usada para conversion de tipo de dato

// variables a usar:

String cadena; // variable a recibir la cadena de datos

int num_sen; // varaible para numero de sensores

int valor_sen; // recojer el valor del sensor

int humedad,flam;

int camb_humedad=0;

```

int camb_flam=0;

String str_humedad,str_flam;

int bateria;

String est_bat;

String alerta="0";

int i=0;

int j=0;

int k;

void setup() {

    // put your setup code here, to run once:

    pinMode(8,OUTPUT);

    Serial.begin(9600);

    Timer1.initialize(1000000); //prescaler a un minuto

    Timer1.attachInterrupt(envio); //subrutina de envio

}

void loop() {

    // put your main code here, to run repeatedly:

    humedad=analogRead(0)/16; // lectura de conversor

    str_humedad=String(humedad);//cambio de variable a string

    flam=analogRead(1)/16;// lectura de conversor

    str_flam=String(flam);//cambio de variable a string


    //comparacion de cambio brusco de estado de sensores

    if(humedad>(camb_humedad+10)||flam>(camb_flam+10)){

        camb_humedad=humedad;

        camb_flam=flam;

        alerta="1";

        digitalWrite(8,HIGH);

```



```

//envio de cadena

cadena=("CA"+alerta+est_bat+"2"+str_humedad+"C"+str_flam+"CC ");

Serial.println(cadena);

}

else{

i=0;

alerta="0";

}


// comparacion de estado de bateria

bateria=analogRead(3);

if(bateria>900)

    est_bat="11";//estado excelente

if(bateria<=900&&bateria>700)

    est_bat="10"; // estado bueno

if(bateria<=700&&bateria>500)

    est_bat="01"; //estado malo

if(bateria<=500)

    est_bat="00";//estado critico

delay(100);

}


void serialEvent(){

if(Serial.available()>0){

    // es necesario enviar un espacio en blanco al terminar la trama

    cadena= Serial.readString();// lectura de string

    Serial.print(cadena);

}

}

```

```
}
```

```
//interrupcion de envio de datos aleatoriamente
```

```
void envio (){
```

```
    //conteo de segundos
```

```
    j++;
```

```
    //envio aleatorio
```

```
    if(j==random(1,60)){
```

```
        cadena=("CA"+alerta+est_bat+"3"+str_humedad+"C"+str_flam+"CC ");
```

```
        Serial.println(cadena);
```

```
    }
```

```
    else
```

```
        j=0;
```

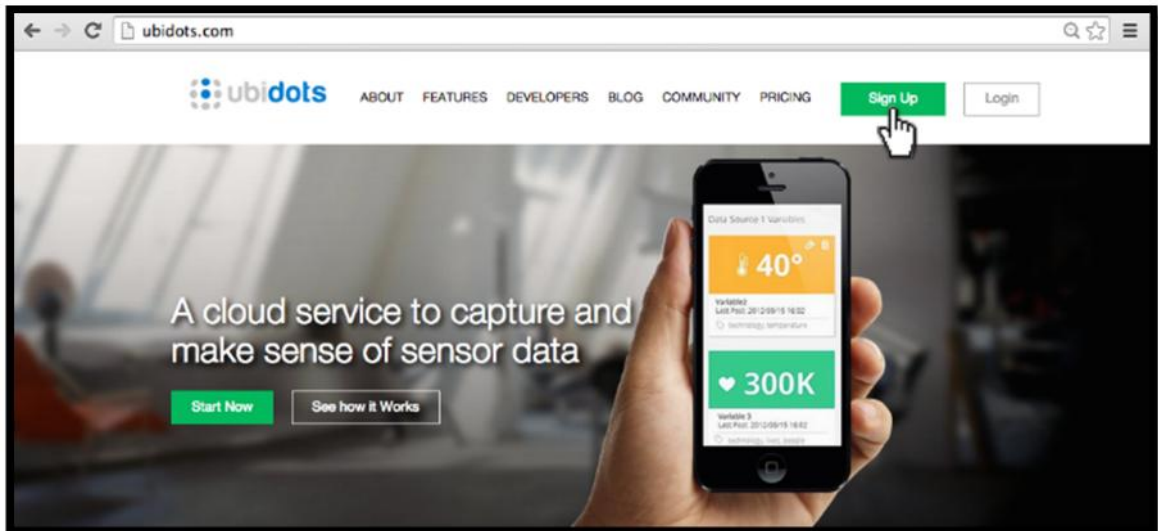
```
}
```

```
*****
```

ANEXO 2: CREACIÓN DE CUENTA DE USUARIO y DASHBOARD EN LA PLATAFORMA UBIDOTS

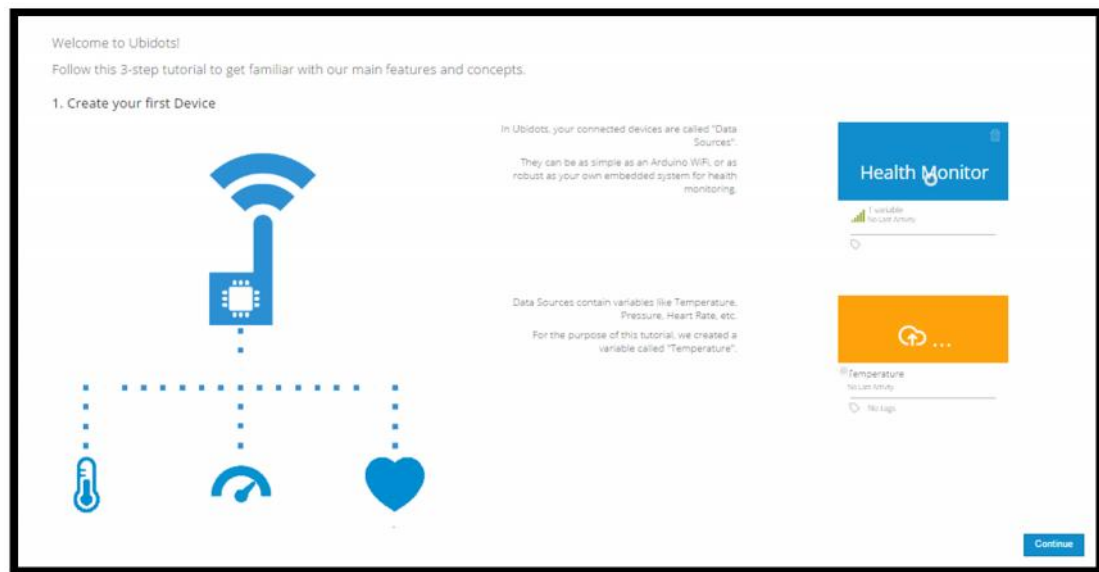
A continuación se procede a indicar los pasos para la creación de una cuenta en la Plataforma Ubidots.

1. Crear una cuenta de usuario. Navegar en *www.ubidots.com*. y hacer clic en “Sign Up”:



2. En la pantalla de registro, introduce tus datos y haz clic en “Sign Up”:

3. Luego crear el primer Device (Interacción de Programa) en la plataforma.



4. Se envía valores aleatorios a la plataforma y se observa las herramientas de visualización incluidas en Ubidots.



5. Definición del umbral de alarma y elección de tipo de alerta a ser enviada. Opción elegida, envío de mensajes SMS

3. Create your first event

Once you have data in Ubidots, there's a bunch of things you can do. For instance, you can trigger an SMS alert when your variable meets a condition. You can try it yourself:

If

Temperature

is

< > =

5

then

send an SMS to

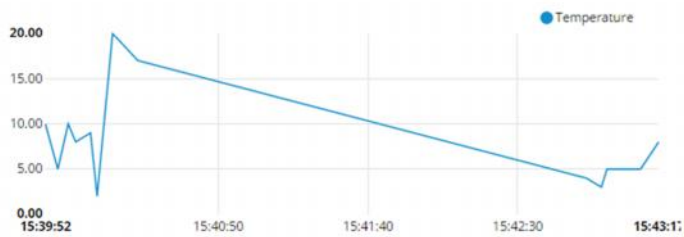
Ecuador +593

990746792

Create Event

2. Send your first values

Enter a value to send data to this variable:



Send Value

This form is making an HTTP POST request the variable you just created and then displays the data as it arrives to our API. Try sending several values to see how the graph updates.

Continue

3. Create your first event

Once you have data in Ubidots, there's a bunch of things you can do. For instance, you can trigger an SMS alert when your variable meets a condition. You can try it yourself:

Event triggered!

You should get an SMS briefly

Continue

You're ready to go!

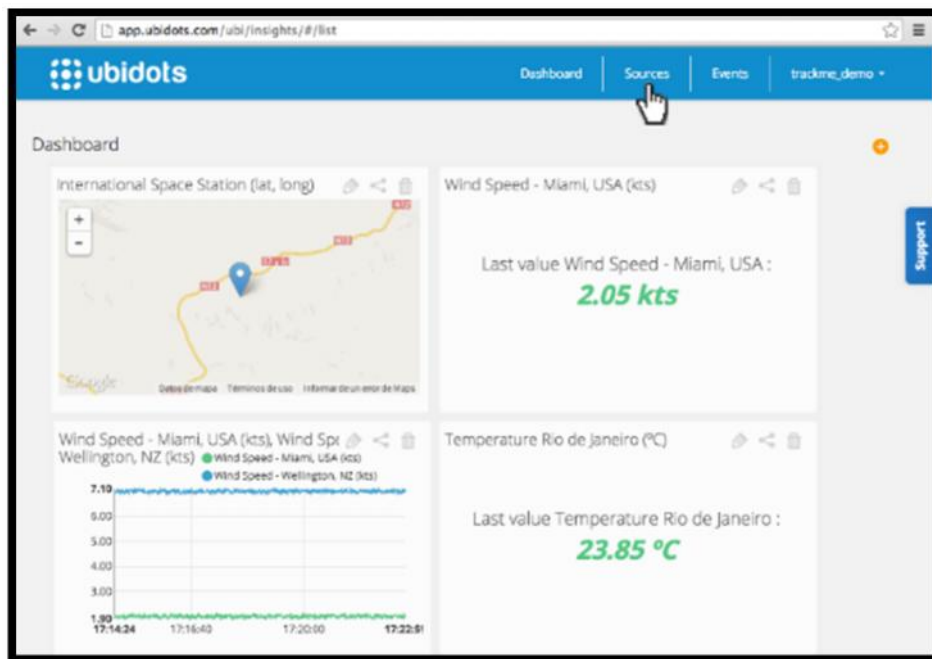
You can access the items we just created in the Dashboard, Sources and Events tabs in the upper right corner.

Don't forget to check out our [API Documentation](#) for more examples and hardware libraries to connect your devices to your account.

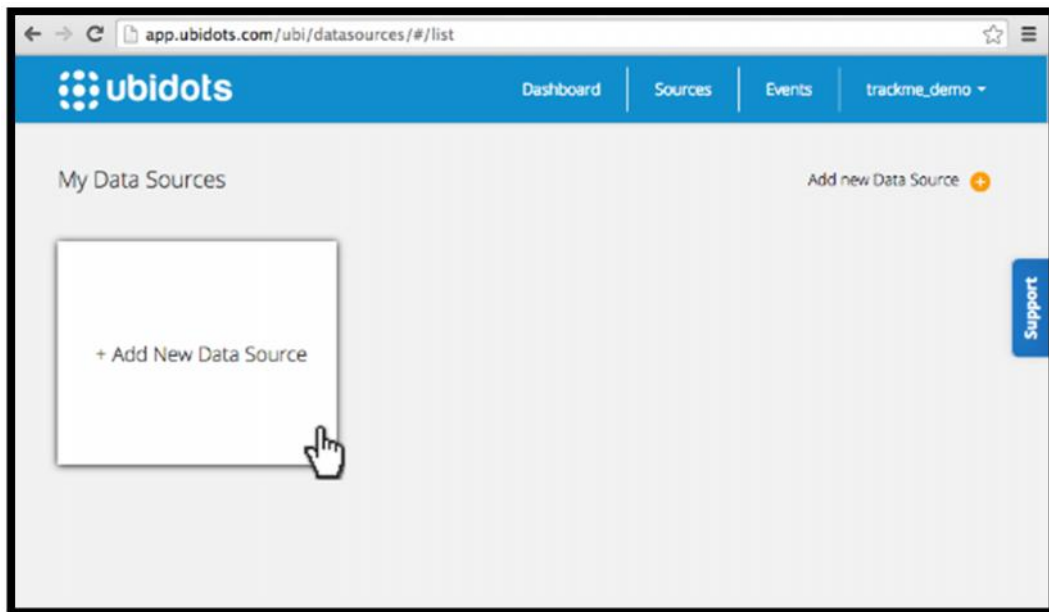
Take me to my Dashboard

CREACIÓN DEL DATA SOURCE (DASHBOARD) DE MONITOREO PARA EL CASO DE ESTUDIO

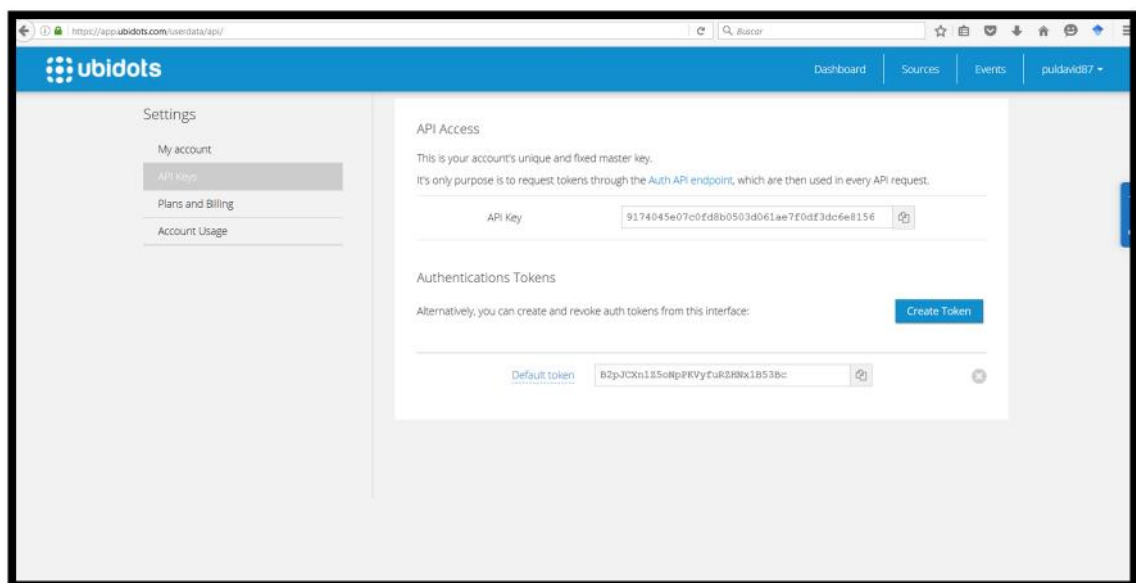
1. Ahora se observa un DashBoard, o cuadro de mando de bienvenida, en donde hay varios ejemplos de visualizaciones que se pueden crear una vez que se envíe datos a la plataforma. Para crear la primera fuente de datos, se hace clic en “Sources”:



2. Y luego en “Add New Data Source”:

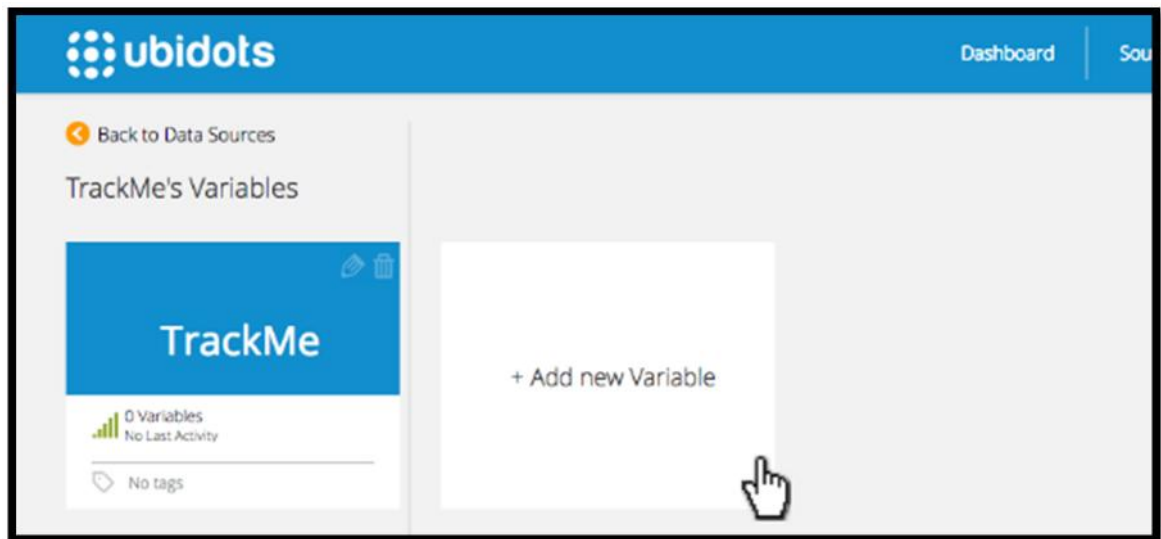


3. Sigue las instrucciones para darle nombre a tu Data Source. Una vez creado, hacer clic en él y se despliegan más detalles, además de un espacio para crear variables.

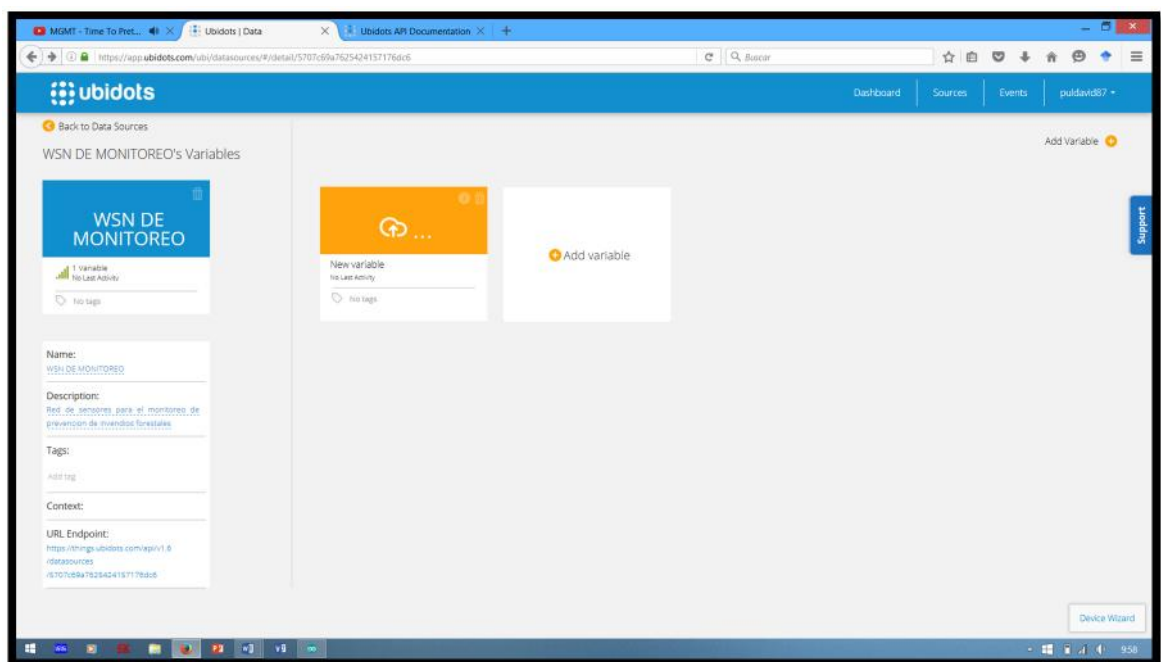


CREAR UNA NUEVA VARIABLE

4. Dentro de la vista del Data Source, hacer clic en “Add New Variable”:



Datos del Proyecto

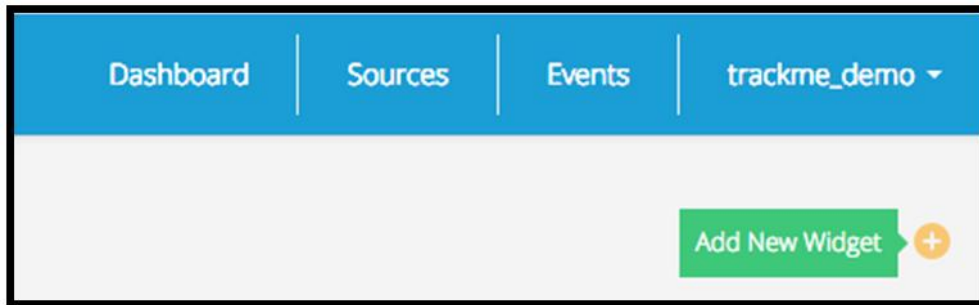


VISUALIZACIÓN DE LOS DATOS

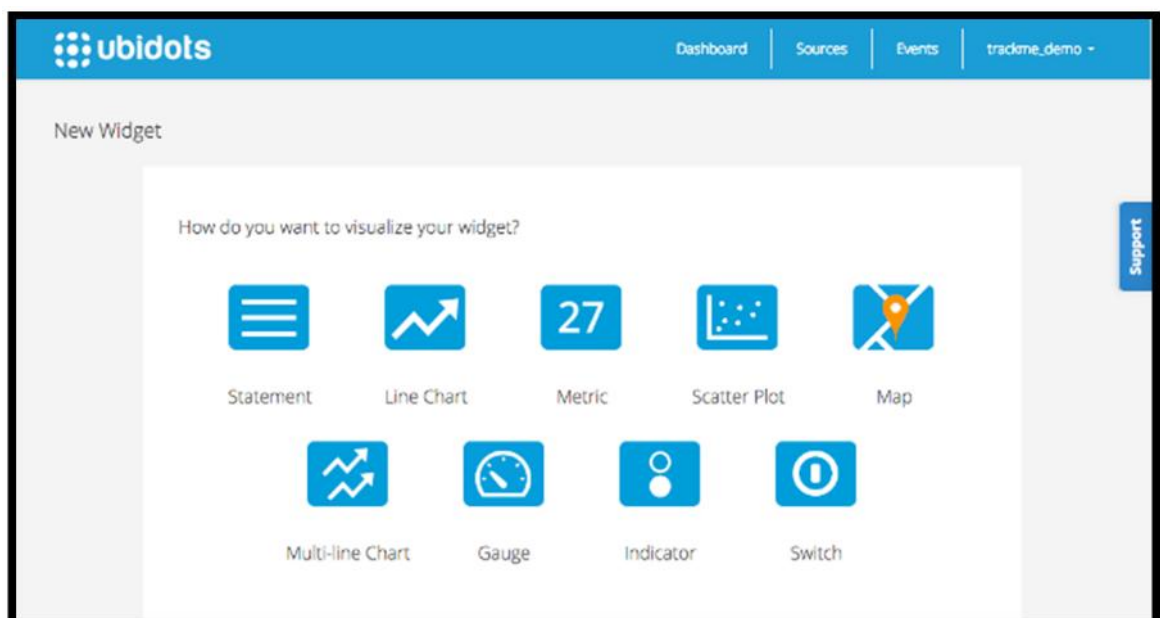
Con los anteriores pasos se logra llevar lecturas del mundo físico al mundo digital; un paso que no permite gozar de las ventajas de almacenar éstos datos en la nube. La primera ventaja será crear visualizaciones en tiempo real.

A continuación se muestran los pasos su realización

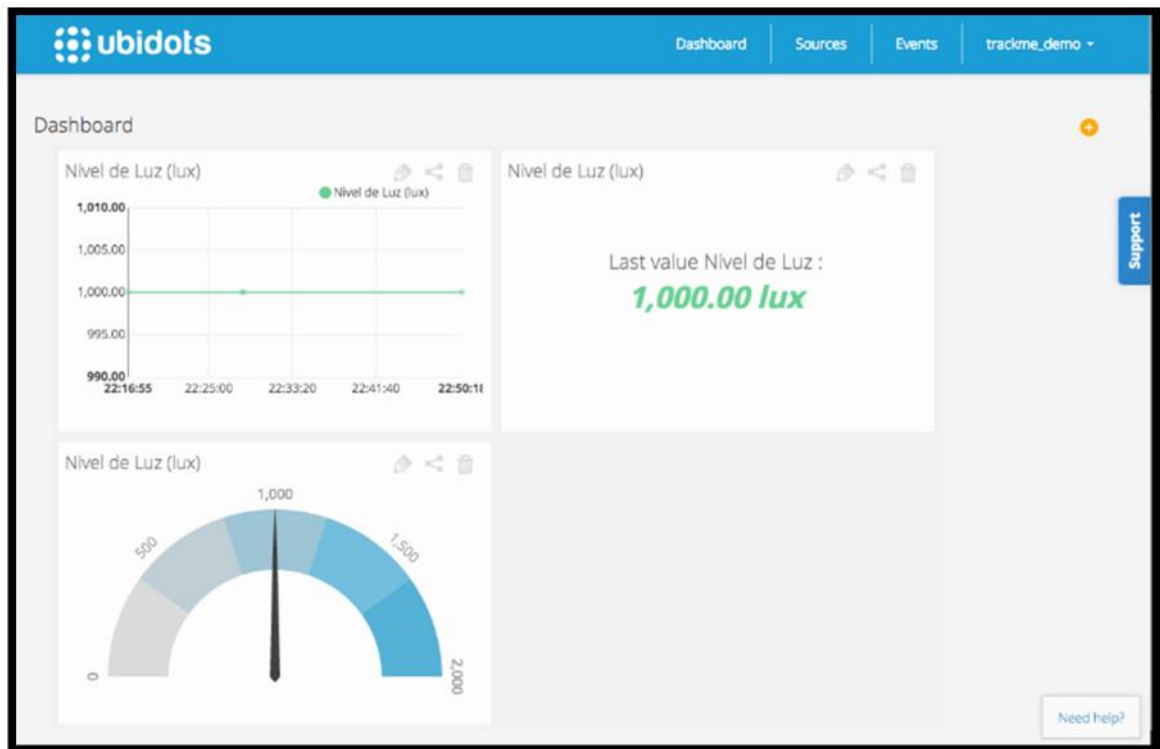
1. Navegar en la sección de “*Dashboard*” en la cuenta de Ubidots y luego hacer clic en el ícono de arriba a la derecha para agregar un nuevo widget o tipo de visualización:



2. Existen varias opciones de visualización. Comenzar por el gráfico de línea (line chart), luego selecciona el Dashboard *Data Source* y la variable “Nivel de Luz”. Repetir éste proceso para crear otro *widget* que muestre el último valor (*metric*) y un tercer *widget* tipo gauge.



3. Éste será el resultado:

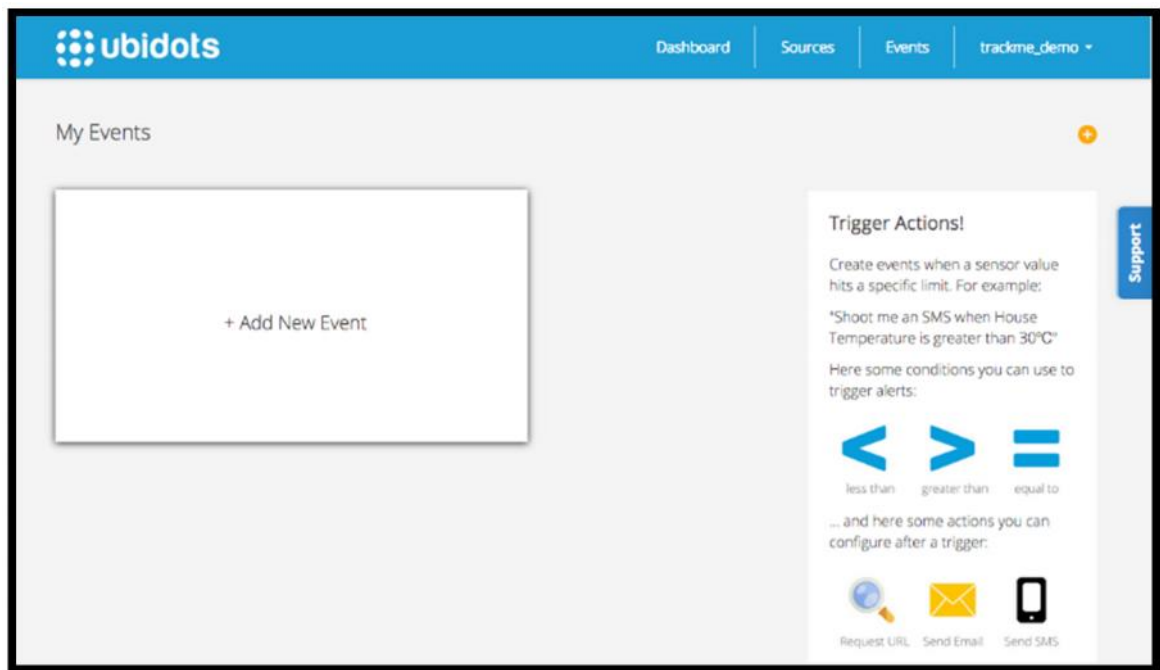


Cada uno de estos widgets podrás embeberlos en aplicaciones web externas, en donde también se actualizarán automáticamente. Ahora que conoces como crear *widgets* es hora de aprender cómo generar alertas Email/SMS.

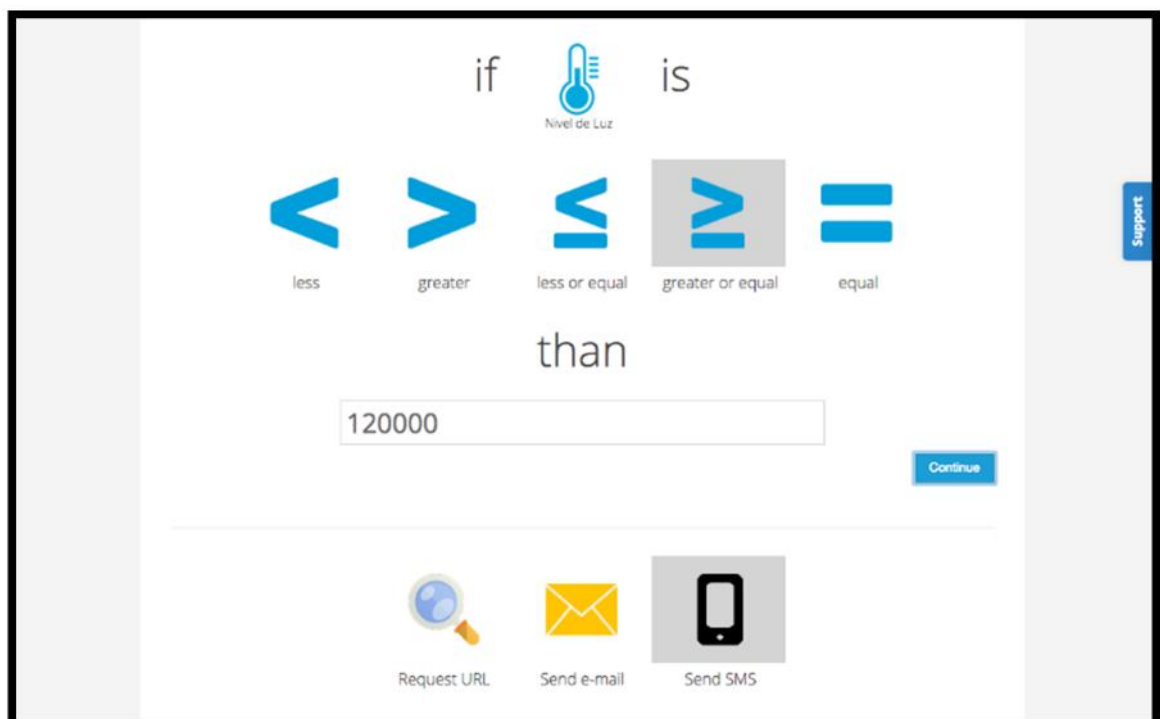
GENERACIÓN DE ALERTAS (Email/SMS)

Otra de las ventajas de almacenar la información en la nube es la posibilidad de crear alertas según el estado de los sensores. Ubidots soporta el envío de Emails, así como el envío de SMS a todo el mundo.

1. Se procede a crear una alerta en Ubidots navegando a la sección “*Events*” y haciendo clic en “*Add New Event*”:



2. Seleccionar el *Data Source* y *Variable*, luego especificar el umbral a partir del cual se debe generar una alerta, en éste caso



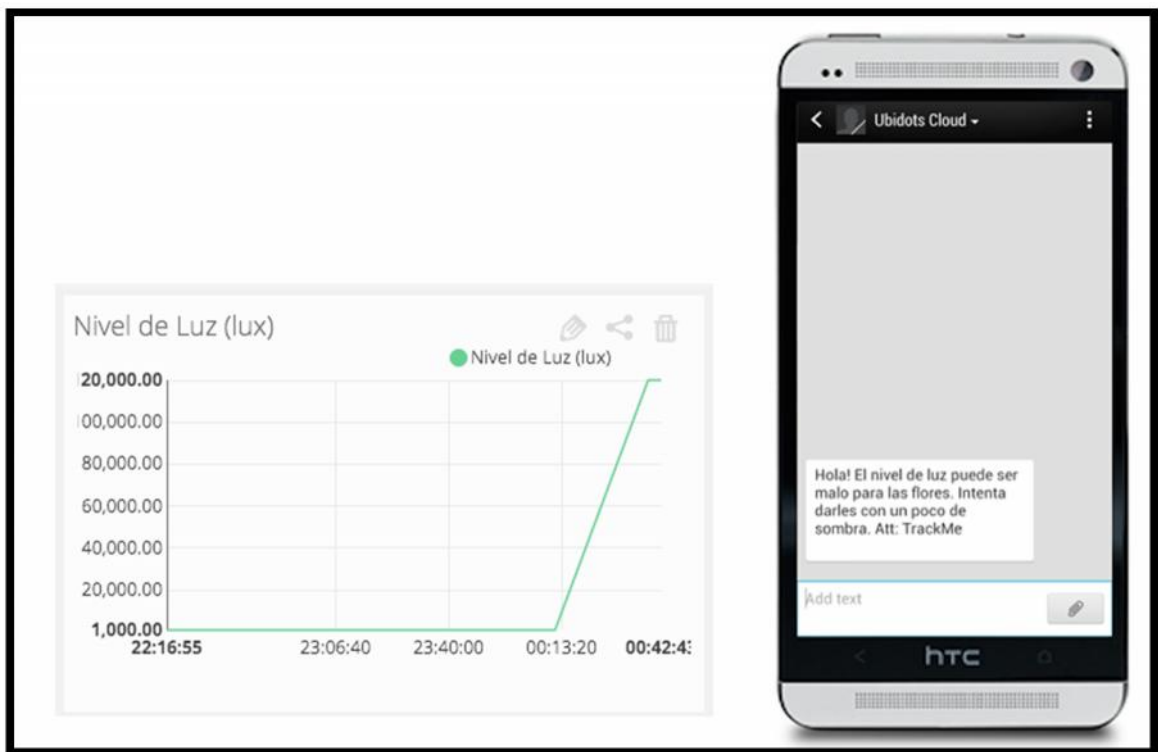
3. Especifica tu número celular con el indicativo de tu país, y el mensaje a enviar:

Phone Number: +573128344182

Message: Hola! El nivel de luz puede ser malo para las flores. Intenta darles con un poco de sombra. Att: TrackMe

Continue

- Haz clic en continuar y habrás creado tu primera alerta SMS. Ahora intenta enviar un dato superior o inferior al umbral configurado; recibirás un SMS al cabo de unos cuantos segundos:



- Continúa con “variables derivadas” para aprender como escalar los datos de tus sensores.

ESCALAMIENTO DE DATOS

Finalmente, al mantener los datos de sensores en la nube, se puede realizar transformaciones mediante fórmulas matemáticas. En lugar de calibrarlo en campo mediante arreglos análogos (i.e. resistencias) o digitales (código en el microcontrolador), pueden ser calibrados en la nube creando una “Variable Derivada”.

1. Para hacerlo dirigirse al *Data Source*, hacer clic en “Add New Variable” y chequear la opción “This is a derived variable”. Se observa un cuadro de texto en el cuál se puede introducir la expresión matemática para calibrar el sensor:

The screenshot shows a web form titled "Some further details about TrackMe's new variable". It contains several input fields: "Name*" with the value "Nivel de Luz Corregido", "Unit*" with the value "lux", "Description" (empty), and "Tags(Comma-separated values)" (empty). Below these fields is a checkbox labeled "This is a derived variable" which is checked. A text block explains that derived variables are created from other variables using expressions, with an example: "Power = Current*Voltage". Below this, there is a large text input field for the expression. The text "Nivel de Luz Corregido =" is already present in the field. To the right of the input field is a link "Insert New Variable" with a plus icon. The input field contains the text "Nivel de Luz" followed by "+3500". At the bottom right of the form is a blue "Create" button.

Some further details about TrackMe's new variable

Name* Nivel de Luz Corregido

Unit* lux

Description

Tags(Comma-separated values)

☒ This is a derived variable

Derived Variables are variables that are created from other variables using an expression. For example the sum of two variables, or the product between a variable and a constant number.

Please enter an expression in the following text box, for example: Power = Current*Voltage

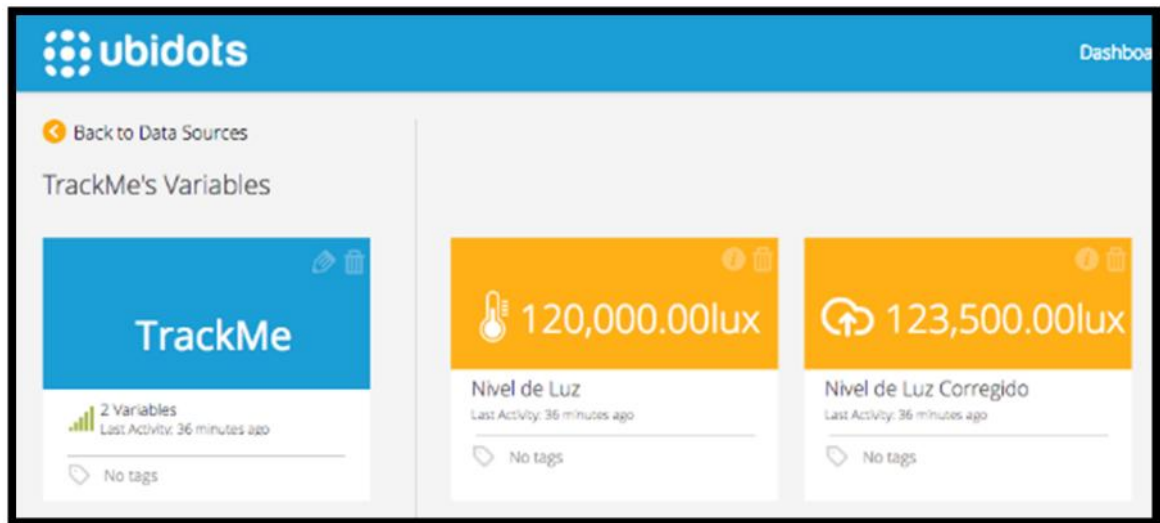
Nivel de Luz Corregido =

Insert New Variable +

Nivel de Luz +3500

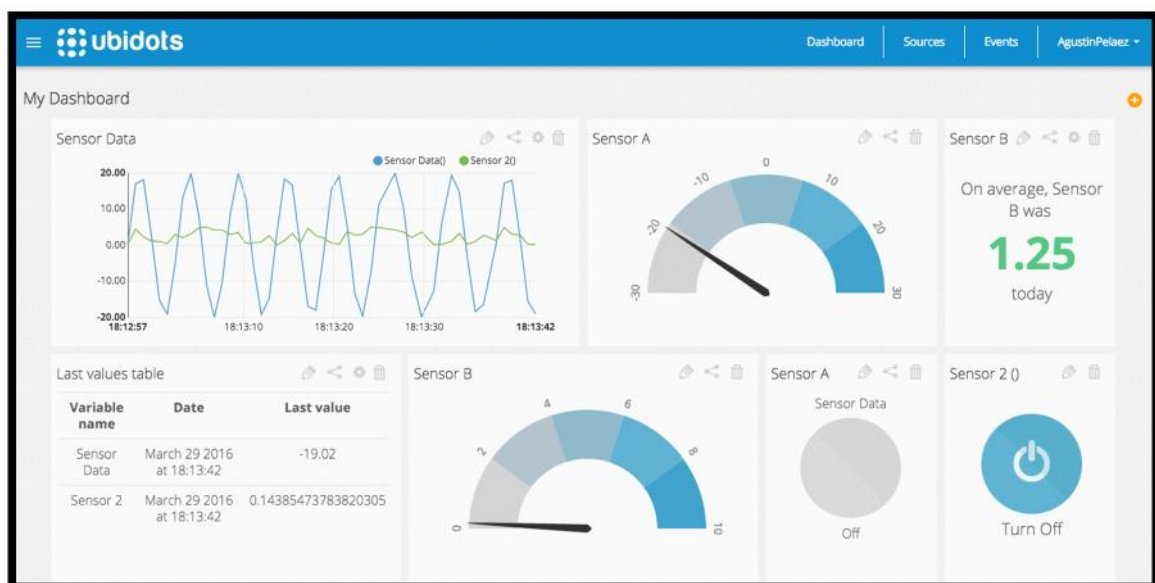
Create

2. Al crear la variable derivada, se observa los nuevos datos re-calculados según la expresión especificada:



3. Ésta opción soporta las operaciones aritméticas básicas (suma, resta, multiplicación, división), así como operaciones exponenciales, logarítmicas y trigonométricas.

Gracias a Ubidots se puede crear rápidamente un sistema web de alertas y visualización, sin necesidad de programar software web.



ANEXO 3: FOTOGRAFÍAS DESARROLLO DEL PROYECTO

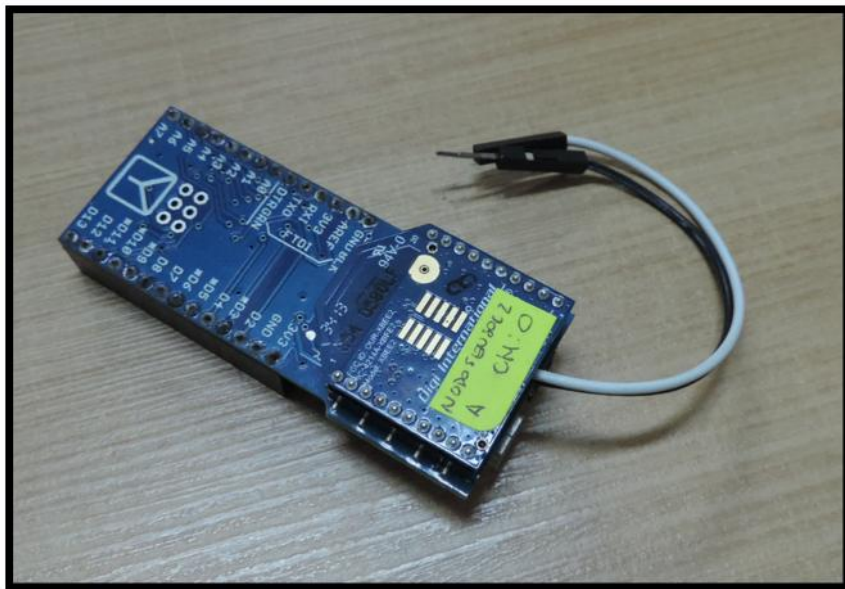
SISTEMA DE ALERTA TEMPRANA DE INCENDIOS

FORESTALES

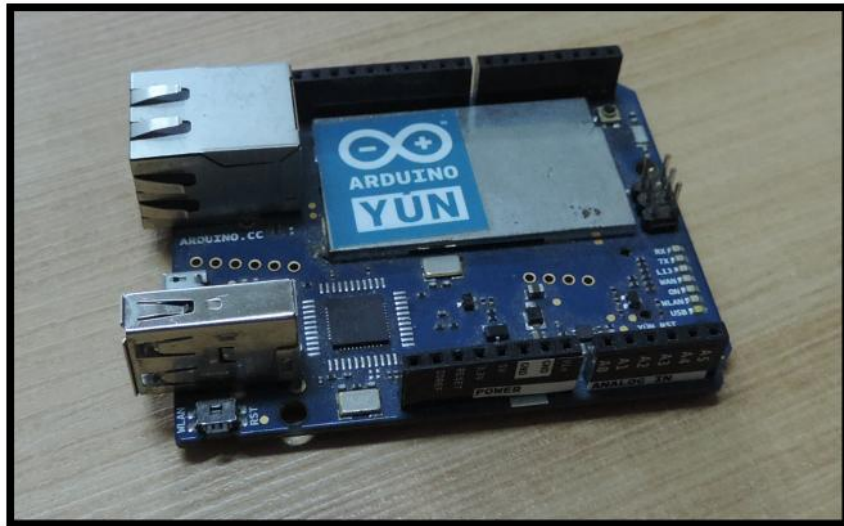
1. Elementos utilizados en el Sistema de Alerta Temprana de Incendios Forestales

Módulos

Arduino FIO



Arduino YUN



Módulo Xbee S2



Sensores

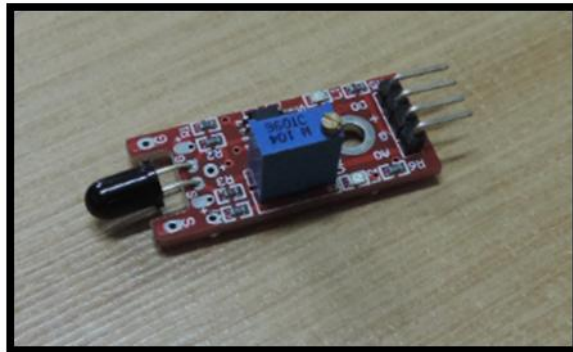
- MQ - 7



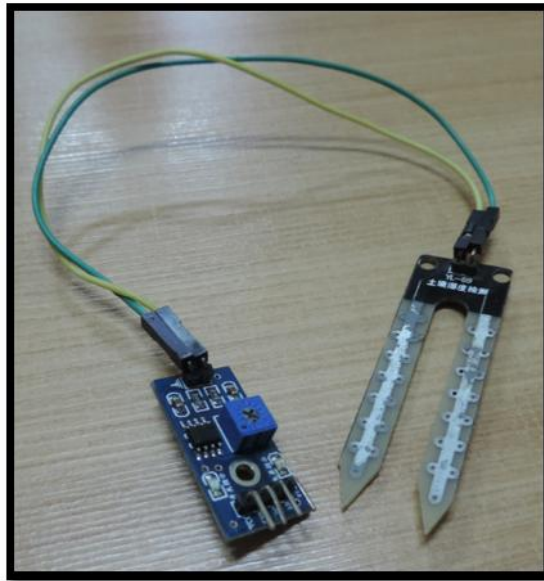
- MQ – 2



- Sensor de Flama



- Sensor de Humedad Relativa

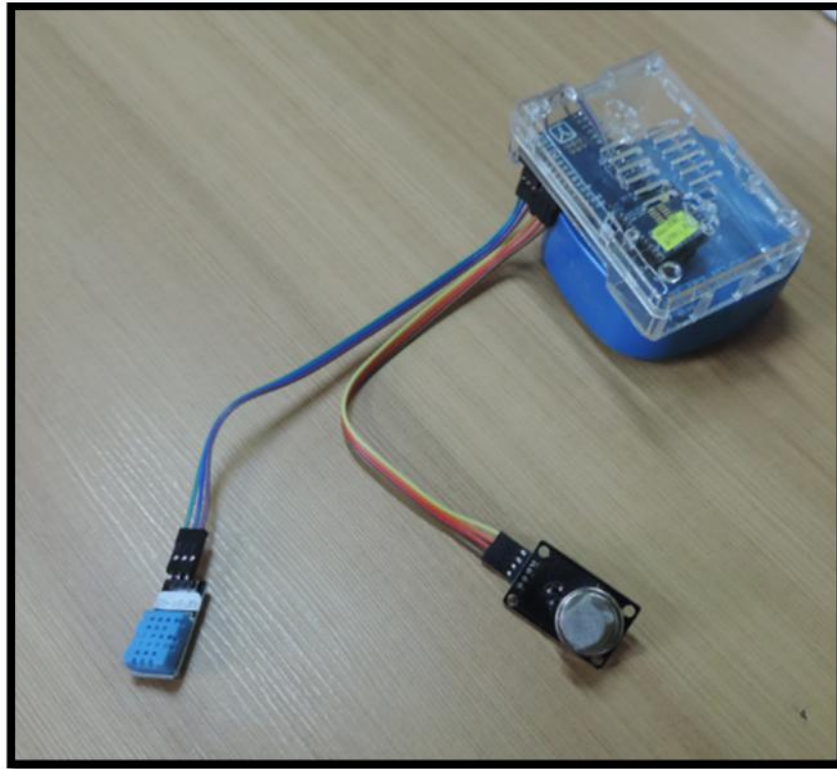


- Batería LiPo



2. Funcionamiento del Nodo Central y Nodos Sensores

Nodo Sensor



Nodo Central



Recolección de Datos a Través del Nodo Central y Visualización del Ubidots

